

# 列车自主运行系统下城市轨道交通线路配线需求研究

陈绍文

(卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海//高级工程师)

**摘要** TACS(列车自主运行系统)已成为未来城市轨道交通线路信号系统的发展方向之一。目前国内 TACS 线路的设计仍没有完整、成熟的标准,这已然成为新建城市轨道交通线路信号系统选择的制约因素之一。在对 TACS 和传统 CBTC(基于通信的列车控制)特征对比的基础上,对 TACS 线路的配线需求进行研究,对停车场库线、正线存车线、正线折返线、转换轨等配线设计进行分析。研究表明:与 CBTC 相比,TACS 对线路配线的要求更低。

**关键词** 列车自主运行系统;基于通信的列车控制;线路配线;安全防护距离

**中图分类号** U231.2

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.11.016

## Research on Line Design Requirements of Urban Rail Transit under TACS System

CHEN Shaowen

**Abstract** TACS (train autonomous control system) has become one of the development directions of urban rail transit line signal system in the future. Since there are still no complete and mature standards for TACS line design in China, it has become one of the constraints in selecting the signal system for newly built urban rail transit lines. Based on a comparison of the characteristics between TACS and traditional CBTC (communication based train control), the design requirements of TACS lines are studied, in which the parking garage line, main line storage track, main line turn-back track, as well as transfer line are analyzed. The research shows that compared with CBTC, TACS requires less for the line design.

**Key words** TACS; CBTC; line design; safety protection distance

**Author's address** CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China

目前,城市轨道交通线路的信号系统设计主要是基于传统 CBTC(基于通信的列车控制)进行,该技术已较为成熟。TACS(列车自主运行系统)作为城市轨道交通信号系统的新制式,是城市轨道交通

技术研究的热点之一。TACS 的应用仍较少,已投入运营的 TACS 线路有深圳地铁 20 号线,正在实施的项目有上海轨道交通 3 号线、4 号线信号系统改造项目等。由此,基于 TACS 线路的配线设计研究也相对较少,并未形成行业标准。本文根据 TACS 的特征及 FAO(全自动运行)技术,对 TACS 线路的配线设计进行研究。

## 1 TACS 区别于 CBTC 的特征

在进行线路配线研究之前,有必要先分析 TACS 的特征,并与传统 CBTC 进行对比:

1) TACS 不再配置联锁系统。因此,采用 TACS 的线路,其轨道不再需要划分物理区段,轨道电路或计轴也随之被取消。传统 CBTC 对各个功能区段进行划分及计轴点设置等原则在 TACS 中也不再适用。

2) 与 CBTC 线路相比,TACS 线路的安全防护距离更短。这直接体现在轨道末端、库线长度、停车点距离道岔/警冲标等距离的减少。

## 2 安全防护距离

由于安全防护距离直接影响到线路配线长度,本文对 CBTC 和 TACS 两种信号制式下的安全防护距离要求作详细说明。

### 2.1 安全防护距离的基本概念

安全防护距离为列车在最不利条件下停车点与 ATO(列车自动运行)停车点之间的距离。图 1 为在给定线路参数和车辆参数情况下的安全防护距离仿真结果示例。只有在安全防护距离大于 25.85 m 时,列车才能实现在设定的 ATO 停车点精确停车。

### 2.2 安全防护距离对列车折返效率的影响

#### 2.2.1 CBTC 下安全防护距离对折返效率的影响

本文设定 CBTC 线路的仿真条件如下:①列车(车长 140 m)在站台停车;②列车以最高限速

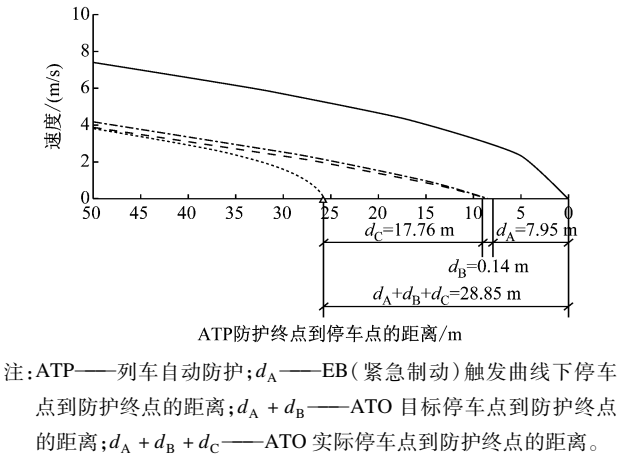


图 1 ATP 防护终点到停车点的安全防护距离

Fig. 1 Safety protection distance from the ATP protection end point to the train stop point

(35 km/h)通过道岔反位后驶入折返线;③从站台停车点至折返线停车点的距离设定为 270 m,其站型如图 2 所示。

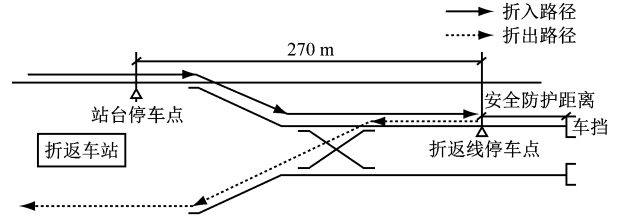


图 2 列车站后折返时的安全防护距离示意图

Fig. 2 Diagram of safety protection distance with train turn-back after the station

基于上述仿真条件,本文测算了 CBTC 线路不同安全防护距离下的列车入折返线耗时(从站台发车至驶入折返线停稳的时间),其结果如表 1 所示。

表 1 安全防护距离与列车入折返线耗时间对照表

Tab.1 Comparisons between safety protection distance and time consumption when train entering turn-back track

安全防护距离/m	入折返线耗时/s
10	70.1
20	60.0
30	54.9
40	53.4
50	52.1
60	51.8
61	51.7
62	51.7
63	51.7
>63	51.7

仿真结果表明:①安全防护距离从 10 m 增大到 50 m 时,列车折返效率的提升较明显;②当安全防护距离由 50 m 增大至 60 m 时,列车折返效率提升微乎其微;③安全防护距离大于 60 m 时,对列车折返效率不再有影响。由此可知,CBTC 线路的安全防护距离越大,列车入折返线耗时越短,列车折返效率越高。设计时一般要求列车进站或折返时的安全防护距离大于 50 m。

### 2.2.2 TACS 下安全防护距离对折返效率的影响

TACS 线路的仿真条件与 CBTC 线路完全一致。表 2 为不同安全防护距离下 TACS 线路列车站后折返时间仿真结果。仿真结果表明:①安全防护距离为 22 m 时,列车站后折返时间为 91.0 s;②安全防护距离由 22 m 增加到 30 m 时,列车站后折返时间减少了 3.0 s;③安全防护距离由 30 m 增加到 40 m 时,列车站后折返时间减少了 1.5 s;④安全防护距离由 40 m 增加到 50 m 时,列车站后折返时间减少了 0.9 s。若再增加安全防护距离,列车站后折返时间的减少值将小于 1.0 s。

表 2 不同安全防护距离下 TACS 线路的列车站后折返时间

Tab. 2 Tune-back time of TACS line train in different safety protection distances

安全防护距离/m	入折返线耗时/s	折返线内等待时间/s	出折返线耗时/s	获取资源线路耗时/s	列车折返时间合计/s
22	41.7	11.0	27.3	11.0	91.0
25	40.2	11.0	27.3	11.0	89.5
30	38.7	11.0	27.3	11.0	88.0
35	37.8	11.0	27.3	11.0	87.1
40	37.2	11.0	27.3	11.0	86.5
45	36.9	11.0	27.3	11.0	86.2
50	36.3	11.0	27.3	11.0	85.6

由此可知,TACS 线路的安全防护距离越大,列车站后折返时间越小。TACS 下安全防护距离由 22 m 增加至 40 m 时,列车折返效率的提升较为明显;安全防护距离大于 40 m 时,其数值再继续增加,对列车折返效率的影响并不大。因此,建议 TACS 线路的安全防护距离设为 40 m。

### 2.2.3 相同安全防护距离下 CBTC 线路和 TACS 线路列车站后折返时间对比

本文对安全防护距离为 50 m 时两种信号制式下的列车站后折返时间进行对比,其仿真结果如

表 3 所示。当安全防护距离为 50 m 时,CBTC 线路列车站后折返时间为 108.0 s,TACS 线路列车站后折返时间为 85.6 s。由此可知:与 CBTC 相比,TACS 下的列车折返效率更高。在达到同样折返时间的情况下,TACS 所需要的安全防护距离更短。

表 3 TACS 线路和 CBTC 线路列车折返时间对比		
Tab.3 Comparison of train turn-back time on TACS line and CBTC line		
单位:s		
项目	TACS 线路	CBTC 线路
入折返线耗时	36.3	46.2
在折返线等待时间	11.0	12.0
出折返线耗时	27.3	34.8
获取线路资源耗时	11.0	15.0
列车站后折返时间合计	85.6	108.0

### 3 TACS 下城市轨道交通线路配线设计

本文基于以下前提条件 TACS 下城市轨道交通线路的配线设计进行研究:①采用启骥 TACS 系统;②研究对象为城市轨道交通线的地下区段;③线路的最高限速为 85 km/h,站台区域最高限速为 60 km/h;④列车紧急保障制动率为 0.85 m/s<sup>2</sup>;⑤列车的悬长(第一轮对至车端的距离)为 4.5 m,2 个轮对的间距为 2.5 m。

#### 3.1 停车场库线设计

自动化场段作为 FAO 项目的标准配置,其重点关注的設計内容为自动区域的划分、停车库线长度设置、停车库地道设置、门禁系统、工作人员防护分区设置、列检库行走路线及登车平台设置等。基于 CBTC 的自动化场段设计目前相对较成熟,国内已投入运营的自动化场段也较多。如果自动化场段改为基于 TACS 设计,则可沿用一部分的设计方案,其余设计方案可在 CBTC 基础上进一步优化。其中,最重要的优化项目是停车库线长度的优化。

本文以双列位库线为例予以说明。如图 3 所示, $d_{11}$ 为列车 1 车端与车挡的距离; $d_{12}$ 为列车 1 的长度; $d_{13}$ 为列车 1 和列车 2 的间距; $d_{14}$ 为列车 2 的长度; $d_{15}$ 为列车 2 车端与计轴点的距离。

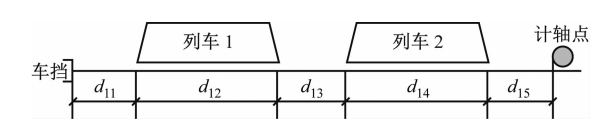


图 3 自动化场段内双列位库线长度示意图

Fig.3 Diagram of double track garage line length in automatic depot

CBTC 下自动化场段的库线长度要求 2 列车的间距不小于 20.0 m,列车车端与车挡的距离不小于 15.0 m,即  $d_{11} \geq 15.0$  m、 $d_{13} \geq 20.0$  m。与 CBTC 线路相比,TACS 线路列车紧急制动耗时更少。按照 IEEE(电气和电子工程师协会)发布的 IEEE-1474 标准对安全制动模型的定义,TACS 线路下列车所需要的安全防护距离要求比 CBTC 线路更短,在 TACS 线路实际的工程设计中,只需要  $d_{11} \geq 12.0$  m、 $d_{13} \geq 15.0$  m,即可满足列车自动入库精确停车要求。

#### 3.2 正线存车线设计

以图 4 所示的站型为例,正线存车线设计时主要考虑的因素包括站台端至出站信号机的距离  $d_{22}$ 、计轴点至道岔警冲标的距离  $d_{23}$ 及停车点(停车站设置于站台端)至轨道末端的距离  $d_{24}$ 。

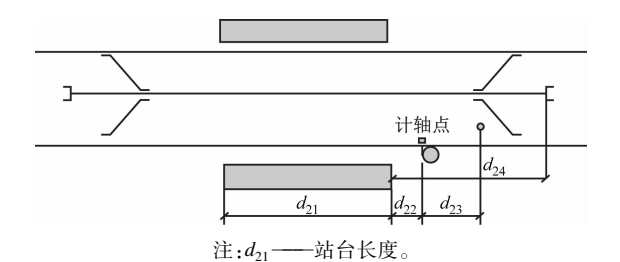


图 4 正线存车线设计示例

Fig.4 Design example of storage line on the main line

CBTC 线路中,考虑列车停车误差和司机瞭望, $d_{22}$ 一般取值为 5.0 m;考虑后溜距离、列车悬长及 2 个轮对间距要求, $d_{23} \geq 9.5$  m;考虑列车停车安全防护距离要求, $d_{24} \geq 40.0$  m。而在 TACS 线路中,只需  $d_{23} \geq 5.0$  m、 $d_{24} \geq 30.0$  m 即可满足要求,此时  $d_{21}$ 、 $d_{22}$ 可参照 CBTC 线路取值。

#### 3.3 正线折返线设计

本文以图 5 所示的列车站后折返站型为例,对正线折返线设计进行说明。图 5 中, $d_{31}$ 为站台停车点至计轴点距离; $d_{32}$ 为停车点至轨道末端的距离; $d_{33}$ 为计轴点至基本轨缝的距离; $d_{34}$ 为停车点至计轴点/信号机的距离; $d_{35}$ 为列车车长; $d_{36}$ 为安全防护距离。

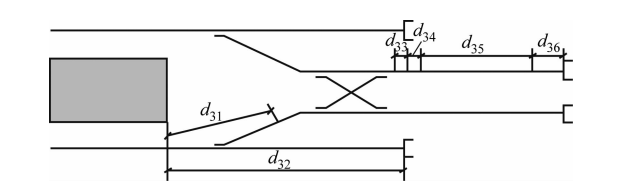


图 5 站后折返线设计示例

Fig.5 Design example of the turn-back track after station

1) CBTC 线路中,只有前车出清防护区段后方可允许为后车办理站台接车进路,因此,列车进站需要建立防护区段,防护区段一般选择出站道岔的侧向,要求  $d_{31} \geq 50.0$  m,以最大限度提高列车的进站效率及列车折返效率。而 TACS 线路对  $d_{31}$  不再严格的限制。

2) CBTC 线路中,如果接车防护区段建立在出站道岔的定位,一般要求  $d_{32} \geq 50.0$  m。而在 TACS 线路中,在列车进站停车不需要折返的情况下,如果停车点至出站道岔岔尖的距离大于 15.0 m,出站道岔可以不锁闭。即使在道岔资源申请为定位锁闭的情况下,在不影响进站效率时也只需  $d_{32} \geq 30.0$  m,这相较于 CBTC 线路减少了 20.0 m。

3) TACS 线路中,因不再配置计轴设备,由此不需要考虑  $d_{33}$ 。

4) CBTC 线路中,考虑列车的后溜距离(2.5 m)和计轴漏计 1 个轮对(2 个轮对间距 2.5 m)的可能性,一般取  $d_{34} = 5.0$  m。TACS 线路中,因不需要考虑计轴的影响,可取  $d_{34} = 2.5$  m。

5)  $d_{35}$  为车长,CBTC 线路和 TACS 线路中该参数的取值相同。

6) CBTC 线路中,为提升列车折返效率,按站后折返间隔为 120 s 进行设计时,一般取  $d_{35} = 50.0$  m。TACS 线路中,若线路折返时间取值与 CBTC 相同(均为 120 s),可取  $d_{35} = 30.0$  m。实际上,根据表 2 中的仿真结果,在安全防护距离为 30.0 m 的条件下,TACS 下线路折返时间可以控制在 90 s 以内。

### 3.4 转换轨设计

CBTC 线路中,转换轨用于列车由停车场进入正线后模式的升级转换,同时列车也在转换轨处匹配正线运行时刻表。如图 6 所示,CBTC 线路自动化车场下转换轨长度由  $d_{41}$  和  $d_{42}$  两部分组成,其中: $d_{41}$  为停车场边界至列车车端的距离; $d_{42}$  为列车长度加上车端距离计轴点的长度。为了列车能在转换轨上完成列车识别, $d_{41}$  应小于线路上最小工程车车长; $d_{42}$  一般为列车长度加上 5.0 ~ 6.0 m。而对于 CBTC 线路的非自动化场段,为了避免场段区段占用对正线造成影响,一般在转换轨与停车场之间再增加 1 个计轴区段。

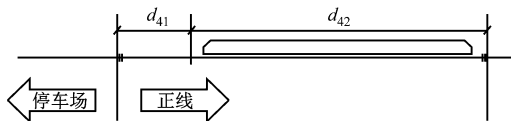


图 6 CBTC 线路转换轨配线图

Fig. 6 Diagram of CBTC line track transfer

如图 7 所示,TACS 线路中由于列车识别由车载子系统负责管理,不再需要轨旁设备,因此也不再需要配置物理上的转换轨来完成列车识别任务。由此,只需要在系统数据中配置 1 段虚拟转换轨(长度为  $d_{41}$ )即可,在线路设计时无需特殊考虑  $d_{41}$  的取值。

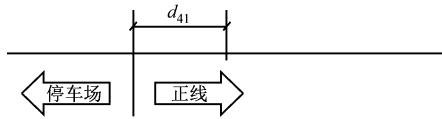


图 7 TACS 线路虚拟转换轨配线图

Fig. 7 Diagram of TACS line virtual track transfer

## 4 结语

本文基于 TACS 线路和 CBTC 线路的特征,对城市轨道交通线路前期配线设计进行研究,重点对停车场库线、正线存车线、正线折返线和转换轨等配线设计进行了对比分析。通过分析可以看出,TACS 线路对配线的要求更低。如果新建的城市轨道交通线路拟采用 TACS,可以在确保运营效能不降低的基础上进一步降低土建成本。

对于既有线信号系统更新改造工程而言,由于配线已经无法再变动,因 TACS 对配线的要求更低,采用 TACS 可更容易满足工程需求。尤其是将既有线信号系统改造为 FAO 系统时,由于 TACS 对停车场库线的长度要求比 CBTC 短得多,其优势更为明显,因此可在最大程度上减少停车场配线改动的工程量。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013:42.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013:42.
- [2] 上海申通地铁集团有限公司. CBTC 条件下的车站配线技术规定:沪地铁[2013]78 号[R]. 上海:上海申通地铁集团有限公司,2013.  
Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd. Technical regulations for station track under CBTC condition: Shanghai metro [2013] No. 78 [R]. Shanghai: Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 2013.

(收稿日期:2020-04-10)