

# 城市轨道交通列车全自动折返设计与实现

黄柒光 梁 宇 刘德伟

(卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 阐述了列车在终端站的折返形式、折返步骤及列车换端方式。介绍了一种列车全自动折返控制方法,解决了传统折返过程中列车到达终端站折返轨后需人工换端,或需切换车载 ATC(列车自动控制)设备主控端后才能继续运行的不足。详细说明了全自动折返控制方法的实现,并结合实际案例进行了描述。实践证明,该方法可高效完成列车自动折返,减少了车头端人工切换时间,提高了折返效率。

**关键词** 城市轨道交通; 列车; 全自动折返; 设计

**中图分类号** U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.039

## Design and Implementation of Full Automatic Turn Back of Urban Rail Transit Train

HUANG Qiguang, LIANG Yu, LIU Dewei

**Abstract** In this paper, the turn back mode, turn back steps and train end changing mode at the terminal are described. A full automatic turn back control method is introduced, which solves the problem of manual terminal change of vehicle after the traditional turn back process when the train arrives at the terminal, it needs to switch the on-board ATC (automatic train control) main control in order to continue the operation. The realization of the full automatic turn back method is explained in detail combined with practical cases. Practice has proved that the discussed method can complete the automatic turn back efficiently, reduce the time of manual switch at the front end of the train, and improve the turn back efficiency.

**Key words** urban rail transit; train; fully automatic turn back; design

**Author's address** CASCO Signal Ltd., 200071, Shanghai, China

在多数城市轨道交通线路设计中,列车到达终端站后,需在线路终端站折返后才能继续运行。列车折返效率将影响线路运营间隔,影响乘客等待列车时间及乘客满意度。

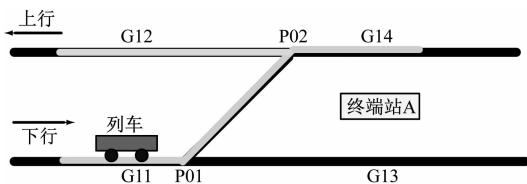
列车到达终端站折返轨后,一般需要通过司机关闭本端司机室,到列车另一端激活司机室,然后

继续运营;换端关闭本端司机室,司机从一端走到另一端,并激活另一端司机室,加上折进进路和折出进路道岔动作,需要花费不少时间,一定程度上影响了列车折返效率。列车折返效率与折返线结构、折返线长度及折返时列车运行速度等因素有关,这些因素需在土建阶段确定。信号系统根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》、《城市轨道交通 CBTC 信号系统行业技术规范-需求规范》进行设计。设计中通过减少道岔动作时间,减少列车在折返轨换端时间,可提高折返效率。

## 1 列车终端站折返介绍

### 1.1 列车折返形式

列车折返形式有站前折返和站后折返。站前折返(见图1)是列车在站台停稳后,完成乘客的下车、上车过程,然后列车启动发车,通过终点站与上一个车站之间的折返线驶离终点站。对于站前折返,在整个折返过程中,列车仅用一侧站台,这种折返经常用于继续延长的线路中,可减少列车折返成本以及列车折返时间和停站时间。但站前折返由于需要乘客在同站台下车、上车,客流量大时,可能会引起站台客流秩序混乱,不利于地铁线路运营组织,容易导致拥挤现象;另外,站前通常布置有道岔,进站速度会因此而受到影响。



注:P01、P02 为道岔;G11 为道岔前的无岔区段;G12 为道岔后的无岔区段;G13、G14 为站台轨。

图1 列车站前折返

Fig. 1 Train turn back before station

站后折返是折返线在终点站之后,列车到达站台停稳,乘客下车完毕后,列车进入折返轨,完成车

头换端并运行到站台另一侧,然后乘客上车;对于站后折返,列车进、出站速度较高,乘客下车、上车在站台两侧,有利于地铁线路运营组织,不易发生客流拥挤,且停站时间不会过长。

## 1.2 列车折返步骤说明

站前折返步骤如下:

- 1) 列车运行到终端站到达站台轨并停稳,打开车门、站台门,乘客下车、上车;
- 2) 列车进行换端,并激活相应的司机室;
- 3) 停站时间结束,车门、站台门关闭;
- 4) 列车从终端站站台轨经过站前道岔运行到下一个车站。

站后折返步骤如下:

- 1) 列车运行到终端站到达站台轨并停稳,打开车门、站台门,乘客下车;
- 2) 停站时间结束,车门、站台门关闭,列车从终端站到达站轨运行到站后选定折返轨;
- 3) 列车运行到折返轨并停稳、进行换端,并激活相应司机室;
- 4) 列车从折返轨运行到终端站出发站台轨;
- 5) 打开车门、站台门,乘客上车;
- 6) 停站时间结束,关闭车门、站台门,列车驶离站台。

## 2 列车全自动折返设计与实现

### 2.1 列车换端说明

列车要进行折返,换端过程是其中的主要环节。通常通过以下方式实现列车换端。

- 1) 列车在车头、车尾两端各安装 1 套车载 ATC (列车自动控制)设备。两端车载 ATC 设备为冗余冷备,仅一端 ATC 车载设备处于工作中。列车到达折返轨并停稳后,司机关闭本端,人工走到另一端,通过钥匙激活另一端车载 ATC 设备。相关案例如上海轨道交通 1 号线。

- 2) 列车在车头、车尾两端各安装 1 套车载 ATC 设备。两端车载 ATC 设备均为冗余热备,主备结合,且处于工作中。其中一端为主控端,主控端随折返换端进行切换。列车到达折返轨并停稳后,自动切换到另一端主控端。相关案例如北京地铁 8 号线。

- 3) 列车在车头、车尾两端各安装 1 套车载 ATC 设备,两端车载 ATC 设备为冗余设备。其中一端为主控端,主控端不随折返换端切换,列车根据轨旁

ATS(列车自动监控)传递的目的地,激活列车运行方向的司机室。相关案例如上海轨道交通 17 号线。

- 第 1 种方式:需人工进行切换车载 ATC 设备,且司机从一端到另一端,影响折返间隔时间。

- 第 2 种方式:无人参与,但系统需切换车载 ATC 设备的主控设备,存在切换故障及切换延时的可能性,影响系统的可靠性和可用性。目前大部分无人驾驶系统采用了该方式。

- 第 3 种方式:无人参与,不需要切换车载 ATC 设备的主控设备,主控端不需切换。

### 2.2 列车全自动折返设计

对于全自动运行系统,第 1 种换端方式需要司机参与,故无法实现,主要采用第 2 种或第 3 种方式实现换端作业。本文主要阐述第 3 种换端方式下列车全自动站后折返的具体设计及实现。

- 1) 在列车车头、车尾两端各安装 1 套车载 ATC 设备,每套车载 ATC 设备与对应端的速度传感器和查询应答器处理模块相连。每套车载 ATC 设备主要包含 ATO(列车自动运行)模块和 ATP(列车自动防护)模块。其中,两端 ATP 模块及两端 ATO 设备均通过网络相连接。通过两端设备状态健康度比较,ATO 模块选择一端为主控端,主控端不随列车折返换端切换。其中,ATO 模块负责列车自动驾驶、精确停车等,ATP 模块负责行车安全、超速防护等。车载 ATC 设备与车辆通过硬线和网络相连,并通过硬线实现安全输入和输出,且与轨旁 ATC 设备及 CI(计算机联锁系统)均通过无线传输实现信息交互。

- 2) 列车运行到终端站到达站台轨,并停稳在站台;列车在进站前,轨旁 ATS 根据计划目的地(折返轨停车点),及列车实际占用位置,在进站前触发站台轨到折返轨的出站进路,出站进路办理好后,信号机允许开放。

- 3) 打开车门(根据驾驶模式和车门控制模式,进行自动或司机人工开车门)和司机室门,车载乘客向导系统和广播通知乘客下车,进行清客。

- 4) 针对有司机驾驶列车,司机通过拔出司控器钥匙关闭激活端,按压自动折返按钮,起动自动折返模式(人工驾驶时,通过司机插入司控器钥匙判断列车激活端);针对无人驾驶列车,无需操作司控器钥匙。

- 5) 车载 ATC 设备传输列车相关信息至轨旁 ATS,ATS 根据车载 ATC 设备传输的列车相关信

息,给车载 ATC 设备下发计划行车命令。

6) 车载 ATC 设备根据接收轨旁 ATS 计划行车命令,结合列车实际位置、存储的电子地图判断列车运行车头端并激活。

7) CI 将轨旁信息通过无线网络传递给轨旁 ATC 设备。

8) 轨旁 ATC 设备根据从 CI 获取的轨旁状态,结合车载 ATC 设备通过车地无线通信传输的位置报告,计算列车运行授权终点,并传递给车载 ATC 设备。

9) 车载 ATP 和 ATO 模块根据列车运行授权终点,结合电子地图、车辆及信号等设备参数计算 ATP 速度触发曲线、ATP 速度曲线和 ATO 速度曲线。其中,ATO 速度曲线在 ATP 速度触发曲线之下,ATP 速度触发曲线在 ATP 速度曲线之下。列车速度如到达 ATP 速度触发曲线,信号系统将输出紧急制动信息给车辆。

10) 通过车载 ATC 设备判断列车具备自动折返条件(包括但不限于已选择自动折返模式、列车激活端、行车方向)后,将 ATO 按钮灯设置为点亮状态,针对有人驾驶线路有两种方式可以起动列车自动折返,一种实现方式是司机下车按压轨旁自动折返按钮,另一种实现方式是司机在车上按压 ATO 起动按钮;针对无人驾驶线路,根据 ATS 发车时间点及清客完成信息即可自动起动列车自动折返。

11) 列车起动后,自动运行至折返轨并停稳。

12) ATS 接收到车载 ATC 设备报告的列车位置及状态信息,结合计划时刻表,更新折返车次号,并将新车次号下发给车载 ATC 设备,同时 ATS 根据运行折返后的新车次号自动触发折出进路。

13) 车载 ATC 设备根据新列车运行命令,结合电子地图,激活列车运行方向的司机室。由于是折返换端,激活的是列车折出方向的司机室。

14) 列车在折返轨停车后,轨旁 ATC 设备根据 CI 传递的轨旁信息,计算列车运行授权终点并发送给车载 ATC 设备。车载 ATC 设备计算 ATO 速度曲线、ATP 速度触发曲线和 ATP 速度曲线。

15) 车载 ATC 设备结合 ATS 发送列车运行命令以及列车激活端信息,判断列车具备发车条件后起动发车。

16) 列车起动后通过折出进路运行至终端站出发站台轨完成自动折返。

采用上述方式进行全自动折返时,可通过轨旁

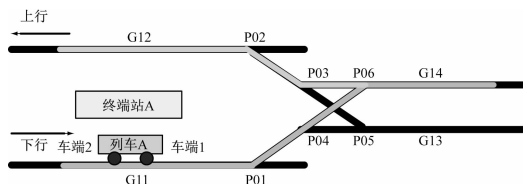
按钮起动自动折返模式,也可通过司机室 ATO 发车按钮起动自动折返模式。该方式对列车有司机折返、无司机折返均适用。

### 2.3 全自动折返信号系统内部消息机制

列车全自动折返主要是由 ATC(车载 ATC 设备与轨旁 ATC 设备)、ATS、CI 3 个子系统,通过网络通信传递相关内容来实现。列车全自动折返消息流如下:①ATS→ATC:计划运行信息,扣车命令,列车位置请求等;②ATC→ATS:列车位置信息,列车状态信息等;③CI→ATS:轨旁设备状态信息等;④CI→ATC:轨旁设备状态信息等;⑤ATS→CI:轨旁设备操作命令;⑥ATC→CI:次级检测设备可用性。

## 3 列车全自动折返案例

图 2 为某轨道交通线路站后折返示意图。对该线路列车全自动站后折返描述如下。



注:P03、P04、P05、P06 为道岔。

图 2 某轨道交通线路站后折返示意图

Fig. 2 Turn back of a rail transit train after station

1) 列车 A 车头、车尾分别为车端 1、车端 2,且包含 2 套车载 ATC 冗余设备,1 套安装在车端 1,1 套安装在车端 2,其中 ATO 主控端在车端 1。

2) 列车 A 到达终端站 A 的下行站台轨 G11 并停稳。

3) 列车 A 在进站前或进站时,轨旁 ATS 根据计划信息及列车实际位置自动触发站台到折返轨的出站进路,进路办理完毕后,开放允许信号。

4) 自动或人工开车门及司机室门,车载乘客向导系统和广播通知所有乘客下车,进行清客。

5) 针对有司机驾驶列车,司机通过拔出司控器钥匙关闭激活端,按压自动折返按钮,启动自动折返模式(人工驾驶时,通过司机插入司控器钥匙判断列车激活端);针对无人驾驶列车,无需操作司控器钥匙。

6) 车载 ATC 设备传输列车相关信息给轨旁 ATS,ATS 根据车载 ATC 设备传输的列车信息,结合计划时刻表,给车载 ATC 设备下发计划行车命

令,命令为列车运行至折返轨 G14。

7) 车载 ATC 设备根据接收轨旁 ATS 的计划信息,结合列车实际所在位置(列车站台轨 G11)以及存储的电子地图,判断列车运行车端 1 为车头端并激活。

8) CI 将轨旁信息通过无线网络传递给轨旁 ATC 设备。

9) 轨旁 ATC 设备根据从 CI 获取到的轨旁状态,结合车载 ATC 设备通过车地无线通信传输的位置报告,计算列车运行授权终点,并传递给车载 ATC 设备。

10) 车载 ATP 和 ATO 模块根据运行授权终点,结合电子地图、车辆及信号等设备参数计算 ATP 速度触发曲线、ATP 速度曲线和 ATO 速度曲线。

11) 车载 ATC 设备判断列车已具备自动折返条件后,将 ATO 自动驾驶按钮灯设置为点亮状态。具备自动折返发车条件后,针对有人驾驶线路有两种方式可以起动列车自动折返:一种实现方式是司机下车按压轨旁自动折返按钮,另一种实现方式是司机在车上按压 ATO 起动按钮;针对无人驾驶线路,根据 ATS 发车时间点及清客完成信息即可自动起动列车自动折返。

12) 列车起动后,自动运行到折返轨 G14 并停稳。

13) ATS 接收到车载 ATC 设备发送的列车信息,并结合计划时刻表,更换折返车次号,并将新车次号等计划信息发送给车载 ATC 设备,同时 ATS 根据折返后的新车次号进行触发折出进路。

14) 车载 ATC 设备根据新列车运行命令,结合电子地图,激活列车运行方向的司机室。由于是折返换端,车载 ATC 设备激活的是车端 2(折返后的车头),主控端仍然在车端 1 不切换。

15) 轨旁 ATC 设备根据 CI 传递的轨旁信息计算列车运行授权终点并发送给车载 ATC 设备,车载 ATC 设备计算 ATO 速度曲线,ATP 速度触发曲线和 ATP 速度曲线。

16) 车载 ATC 设备结合 ATS 发送列车运行命令及列车激活端信息,判断列车具备发车条件后起动发车。

17) 列车起动后通过折出进路自动运行至上行站台轨 G12,完成自动折返。

## 4 结语

本文所述的全自动折返控制方法可高效完成列车自动折返,减少车头端人工切换时间,也避免了主控端切换引起的延时,提高了信号系统的可用性;同时相应减少了列车折返间隔时间,提高了列车折返能力及运营效率。该方法目前已被广泛应用于北京、上海、深圳、成都、郑州等城市轨道交通有人和无人驾驶线路信号系统中。

## 参考文献

- [1] 杜全兴.深圳地铁列车无人驾驶自动折返功能[J].铁路通信信号工程技术,2007(6):45.  
DU Quanxing. Driverless train reverse function in Shenzhen Metro [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2007 (6):45.
- [2] 徐小亮,柴慧君,薛强.地铁列车前折返效率影响因素分析[J].城市轨道交通研究,2014(10):119.  
XU Xiaoliang, CHAI Huijun, XUE Qiang. Analysis of factors influencing the front turn back efficiency of metro train[J]. Urban Mass Transit, 2014(10):119.
- [3] 李春宇.沈阳地铁一号线无人自动折返方案[J].铁路通信信号工程技术,2009(1):40.  
LI Chunyu. Automatic turn-back scheme for Shenyang Metro Line 1 [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2009 (1):40.
- [4] 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:中国建筑业出版社,2013.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2013.

(收稿日期:2019-12-13)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704