

# 计算机编制城市轨道交通共线交路列车运行图

江志彬<sup>1</sup>, 徐瑞华<sup>1</sup>, 吴强<sup>2</sup>, 吕杰<sup>2</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 上海轨道交通运营管理中心, 上海 200070)

**摘要:** 分析了城市轨道交通的网络结构和客流特征条件下的共线交路形式, 重点研究了共线交路列车运行图底图结构设计、车底套跑与非套跑的运用方式、列车运行间隔的合理匹配、列车首末班车与换乘节点衔接方案的优化、车场的有效利用以及列车延误的影响等问题, 对共线交路列车运行图的铺画流程和方法进行了探讨。

**关键词:** 城市轨道交通; 列车运行图; 共线交路; 计算机编制; 车底周转

**中图分类号:** U 231 + .92

**文献标识码:** A

## Shared-path Routing Timetable Computer Designing in Rail Transit System

JINAG Zhibin<sup>1</sup>, XU Ruihua<sup>1</sup>, WU Qiang<sup>2</sup>, LV Jie<sup>2</sup>

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shanghai Metro Operation Management Center, Shanghai 200070, China)

**Abstract:** The paper first presents an analysis of the style of shared-path routing based on rail network and the passenger flow characteristics, then focuses on the design of shared-path routing diagram structure, the using way of the train set of linking or non-linking, the reasonable match of train interval, the optimization of first and last train timetable and the coordination of interchanger station, the effective utilization of depot and the effect of delay propagation. At last, the computing procedure and method of timetable designing are discussed.

**Key words:** urban mass transit; timetable; shared-path routing; computer design; turnaround of train set

随着中国城市轨道交通网络建设速度地不断加快, 目前上海、北京、广州等城市的轨道交通网络已经初具规模, 并逐步进入了网络化运营的新阶段. 在城市轨道交通网络建设过程中, 部分线路的结构形式也变得越来越复杂, 如出现了环型线、Y(双Y)型线、直线加环线等类型的线路, 另外, 随着部分线路的客流量

不断变化, 客流在时间与空间上不均衡性已经越来越明显. 因此, 不论是从线路的形式还是从客流的特征出发, 城市轨道交通线路的开行方案必然要从传统单一交路形式逐步发展为更为复杂的如共线交路(包括大小交路)、环形交路和衔接交路等交路形式. 列车运行图的编制是一项需要考虑路网结构、客流特征、乘客服务、车底运用和运营调整等多因素优化的复杂工作<sup>[1-3]</sup>. 城市轨道交通列车运行图计算机编制单一交路过程中的行车间隔、车底数量、运行周期之间相互影响和制约、列车出入库运行线的自动编制、高峰与非高峰时间段过渡运行线的编制等问题已详细研究<sup>[4-5]</sup>. 相对于单一交路列车运行图, 共线交路列车运行图的编制除了要考虑上述问题外, 还需要重点综合考虑客流特征、车底运用方式、折返站折返线能力、列车出入库方式和开行间隔匹配等问题。

## 1 城市轨道交通网络中的共线交路问题

### 1.1 线路网络结构特征产生的共线交路

城市轨道交通网络从广义上讲, 是由各种模式的轨道交通线路组成的综合性整体网络, 而从连接形式上可分为连通型和非连通型两种<sup>[6]</sup>. 在连通型城市轨道交通网络上, 由于轨道交通网络的强连通性, 可组织列车跨线运营和开行多种交路的列车. 对于连通型城市轨道交通网络, 常见有 Y(双Y或多Y)型线, 直线加环型线等形式, 这些线路由主线和支线组合而成, 具有简单网络的特征, 如图 1 所示。

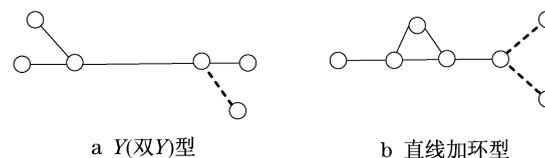


图 1 常见连通型城市轨道交通网络形式

Fig. 1 Connectivity network style in rail transit system

收稿日期: 2009-03-13

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA11Z236, 2007AA11Z204)

作者简介: 江志彬(1980—), 男, 工学博士, 主要研究方向为轨道交通运输组织现代化, 运输系统仿真. E-mail: jzb@tongji.edu.cn

### (1) Y(双Y)型线

Y(双Y)型线是城市轨道交通网络中常见的线路形式,其线路特征是在主线某一个(或多个)车站引出一条(多条)支线,形成一个简单网络.这类线路常见于连接市中心与多个城市副中心(郊区)的线路,其特点是线路距离较长,客流的基本特征是市区客流量大,郊区客流量小.这类线路类型在我国城市轨道交通网络中比较常见,如上海10号线与11号线、广州3号线和规划的北京S1线等.

### (2) 直线加环型线

直线加环型线是城市轨道交通网络中一种非常

特殊的线路形式,其主要特征是由一直线加一环线,且环线可以与直线互通.环线可以连在直线的中间段,也可以连在两端.这类线路的主要特征是环线与直线会存在共线的区段,交路组合形式多且复杂,其运行图的编制难度也很高.目前我国上海存在这样的线路形式,如3号线和4号线,环在中间连接,共有9个共线站.

因此,网络的物理结构决定了列车共线运行,也必然会产生共线交路的形式,图2给出了几种常见的共线交路形式.

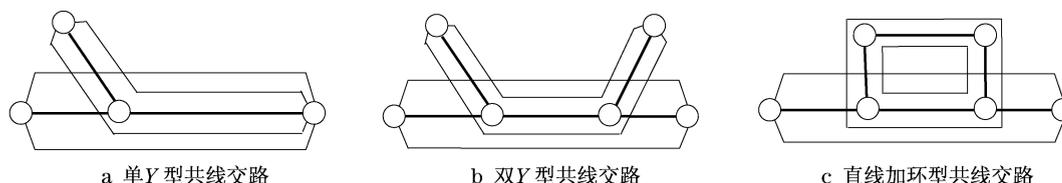


图2 线路网络结构特征产生的共线交路形式

Fig.2 Shared-path routing style created by network structure

## 1.2 同一线路的不同交路形式产生的共线交路

另外在单一形式的线路上,由于客流特征等原因

需要开行两种或两种以上的交路形式,如果这些交路之间存在共线区段,也会形成共线交路,如图3所示.

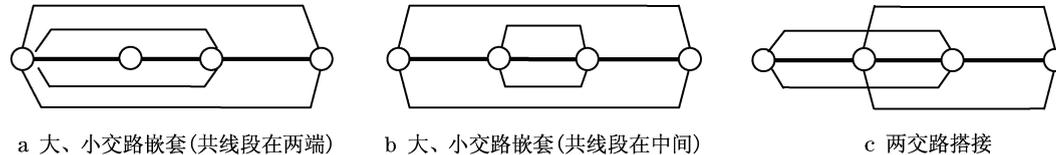


图3 同一线路的不同开行交路产生的共线交路形式

Fig.3 Shared-path routing style created by different paths of the same line

图3的三种形式适用的条件各有不同,图3a适用的条件是区段客流量不均衡程度较大,某一端客流断面大,有明显客流断点的情况;图3b适用的条件是区段客流量不均衡程度较大,中心区段客流断面大,两端区段的客流断面小,跨两端直通客流较大,有明显客流断点;图3c适用的条件是区段客流量不均衡程度较大,中心区段客流断面大,两端区段的客流断面小,跨两端直通客流少,两端至线路中心区段客流大,有明显客流断点.

因此,可以将共线交路定义为:一条线路(包括非连通型与连通型线路)上开行两种或两种以上的交路形式,且至少存在两种交路通过某一相同区段.这个相同区段称共线区段,其他区段称非共线区段.

不论是线路网络结构形式还是客流特征产生的共线交路,在运行图编制时,都可以归纳为同一的理论问

题.需要说明的是,受线路条件以及客流特征的影响,某些线路上有可能同时开行上述两种情况的共线交路.

## 2 城市轨道交通共线列车运行图编制的关键问题

### 2.1 底图结构的定义

相对于单一交路,共线交路的底图结构定义更为复杂,为了更直观描述共线交路列车运行图,需要对共线交路列车运行图底图结构进行描述.合理的底图结构形式不仅能使运行线直观、顺直,还能更好地反映列车之间的相互关系以及车底的周转关系.如图4为单Y型线路运行图底图结构的一种形式.

### 2.2 车底运用方式

在共线交路列车运行图中,车底周转有两种方

式:独立运用和套跑运用.套跑运用时,车底周转与交路方式不完全匹配,在某一交路上运用的列车可以担任其他交路列车的运用任务,独立运用时,车底

周转与某交路完全匹配,在某一交路上运用的列车不能担任其他交路的运用任务,如图5所示.

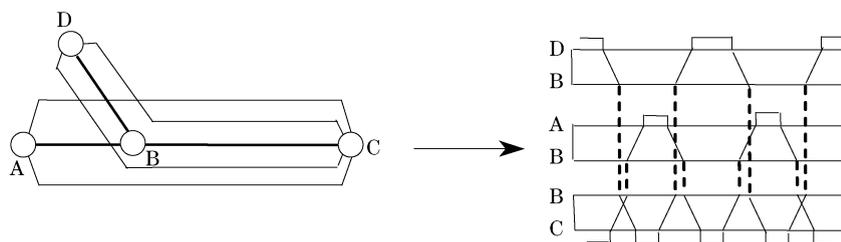


图4 单Y型线路运行图底图结构的形式

Fig.4 Diagram structure style of single type "Y" structure line

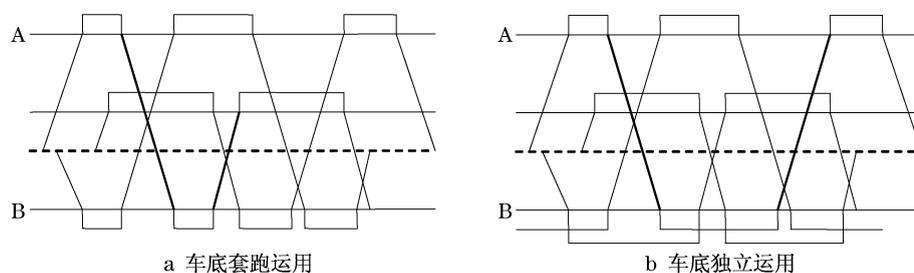


图5 车底周转方案

Fig.5 Cycling scheme of train set

由图5可以看出,车底套跑运用较独立运用时,车底周转更灵活,如图5a,长交路列车在到达B站后,可以以最小的停留时间衔接小交路列车,但如果车底独立运用(如图5b),长交路列车只能衔接后面长交路列车,这种情况下长交路列车在B站的停留时间会增加.因此,车底套跑运用不仅可以加快车底的周转速度,节省车底数量,还能提高B站的接发车能力.

但是,车底套跑运用需要具备一定的条件:

(1) 不同交路必须存在一个相同的折返站(如图5中的B站),这是车底套跑运用的必要条件.

(2) 各交路所在线路、车辆、信号等设备必须具备互通的条件.主要表现在车辆型号、信号制式可以兼容,车站的站台长度等设施与设备也能满足列车互通要求.

车底独立运用时,车底运用数量取决于各独立交路的运行周期时间,车底运用数量的计算公式为

$$N_s = \sum_{i=1}^n [T_i/t_i] + n_r \quad (1)$$

式中: $n$ 为开行交路数量; $T_i$ 为第*i*个交路的实际运行周期时间; $t_i$ 为第*i*个交路在一个周期内的平均间隔时间; $n_r$ 为备用车底数量.

$T_i$ 这个参数需要在运行图编制好后才能得到,在计划运行图编制前估算车底运用数量时,可以取最小运行周期(上下行运行时分加上两端的最小折返时间).一般来说,由于受不同交路的运行间隔的制约,实际运行周期往往会比最小的运行周期大,因此落实到计划运行图的车底数量可能比估算值大.

如果车底套跑运用,车底的运用周期不固定,估算时可以将车底独立运用时的计算值乘以一个折算系数.

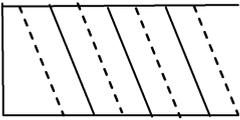
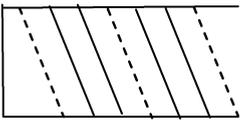
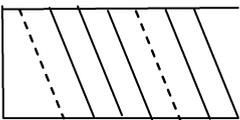
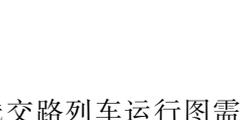
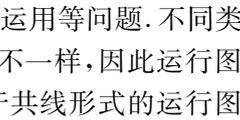
需要说明的是,采用计算机编制运行图时,在列车运行间隔与不同交路的开行比例定义好后,利用图解法可以得到不同时段车底运用数量.

### 2.3 共线交路运行间隔的合理匹配

为了保证较高的服务水平,城市轨道交通列车的开行要尽量保证行车间隔的均衡.因此,在落实到计划运行图时,在同一周期时间内,不同交路列车的开行数量(即运输能力)会是一个严格的比例关系,如1:1,1:2,2:1等.因此,共线交路的列车开行方案不仅要以断面客流为基础,还要考虑各交路列车在共线段的开行比例.表1为单Y型线路共线交路运行间隔的匹配关系表.

表1 单Y型线路共线交路运行间隔匹配关系表

Tab.1 Interval matching relations in single type "Y" structure line

方案	计算间隔/min		实际平均间隔/min		开行比	运行图图示(虚线为交路A-C的运行线,实线为交路D-C的运行线)
	交路A-C	交路D-C	交路A-C	交路D-C		
1	9	9	9	9.0		
2	9	8	8	8.0	1:1	
3	9	7	7	7.0		
4	9	6	9	4.5	1:2	
5	9	5	9	4.5		
6	9	4	9	3.0	1:3	

#### 2.4 列车首末班车时刻的优化

列车首末班车衔接是城市轨道交通列车运行图铺画过程中需要重点考虑的条件,对于共线交路运行图,除了要考虑首末班车与网络其他线路的有效衔接外,还需要考虑同一线路不同交路首末班车的要求,尤其对于大、小交路嵌套的运行图,铺画时一般考虑首班车与末班车都采用长交路,这样便于乘客记住该线首末班车时刻。

#### 2.5 列车在换乘车站的衔接

在共线交路运行图中,除了要考虑列车在换乘站与其他线路列车或其他交通工具的有效衔接外,还需要考虑乘坐不同交路的乘客换乘的要求。尤其是在Y型或双Y型线路中,不同交路乘客的换乘一般都在同站台换乘,因此需要重点考虑接轨站(包括接入与接出站)乘客换乘的需求,尽量减少乘客在站台的停留时间。

#### 2.6 车场的有效利用

如果线路存在多个车辆段或车场,开行共线交路时,列车的出入库方式会存在多种形式,车辆段或车场的运用要以运用灵活与经济为首要原则。

#### 2.7 列车延误的影响

受线路条件制约,共线交路列车运行过程中,某一交路列车的延误有可能影响到其他交路的列车。在共线段,由于列车密度大,行车间隔小,延误的传播速度与影响范围往往比较大。因此在共线交路列车运行图编制过程中,可以通过设置合理的区间运行缓冲时间、停站缓冲时间以及折返缓冲时间来降低延误的影响。

### 3 共线交路列车运行图编制的计算机实现

通过分析,编制共线交路列车运行图需要重点考虑间隔的匹配、车底的运用等问题。不同类型的共线形式对运行图的要求不一样,因此运行图的编制流程也有所不同,但对于共线形式的运行图需要重点考虑的问题基本相同。

编制共线交路运行图时,需要先定义底图结构,然后选择基准交路,根据开行间隔的要求计算两交路需要开行的比例,根据两交路的车底运用方式(套跑还是非套跑)分别计算车底运用数量并铺画方案运行图,然后铺画出入库线并定义好首末班车与换乘节点的衔接方案,最后计算相关指标并输出运行图,详细的铺画流程如图6所示。

另外,在编制共线交路运行图时,受列车开行比例的制约,不同列车折返时间与折返方式(尤其是站前折返)有时会与开行间隔存在冲突,这时可以通过调整基准交路或开行间隔来疏解冲突。通常情况下共线段折返站的能力最为紧张,因此铺画时一般选取共线段的小交路为基准交路。

### 4 结语

总体来说,共线交路铺画过程中需要综合考虑车底运用方式、折返站折返线能力、列车出入库方式、不同交路运行间隔的合理匹配等问题,对于不同

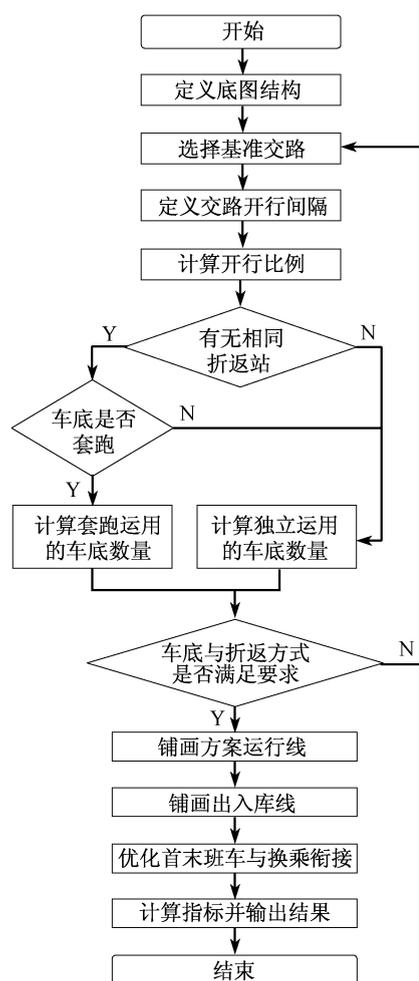


图6 共线交路列车运行图编制流程图

Fig.6 Flow chart of shared-path train diagram designing

的共线形式,需要考虑的重点是不相同的.随着我国各城市轨道交通网络的形成以及客流在时间与空间上的特征变化,从提高服务水平、节省车底运用数量、降低运营成本等方面来看,线路列车的交路方案必然要向多样化的形式发展,如共线交路、环形交路、组合交路等,本文仅对共线交路的相关理论与计算机编制的实现方法进行了探讨.

本文的思路已经体现在城市轨道交通列车运

行图计算机编制系统(Rail TPM V4.8)中,该系统已经成功实现铺画上海轨道交通1,2,6,8号线大、小交路列车运行图,11号线“Y”型交路列车运行图,3号线和4号线大、小交路加共线交路列车运行图.从实际应用情况看,Rail TPM系统解决了复杂共线交路的列车运行图计算机编制问题,大大减轻了编图人员的劳动强度,加快了运行图的编制速度,提高了运行图的编制效率,在实际运用过程中取得了良好的效果.

#### 参考文献:

- [1] Wong Rachel C W, Yuen Tony W Y, Fung Kwok Wah, et al. Optimizing timetable synchronization for rail mass transit[J]. Transportation Science, 2008, 42(1): 57.
- [2] Peeters Marc, Kroon Leo. Circulation of railway rolling stock: a branch-and-price approach [J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(2): 538.
- [3] Kroon Leo, Maroti Gabor, Helmrich Mathijn Retel, et al. Stochastic improvement of cyclic railway timetables [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2008, 42(6): 553.
- [4] 徐瑞华, 江志彬. 城轨交列车运行图计算机编制的关键问题研究[J]. 城市轨道交通研究, 2005(5): 31.  
XU Ruihua, JIANG Zhibin. Key problems of designing train timetable in urban mass transit system with computer[J]. Urban mass transit research, 2005(5): 31.
- [5] 江志彬, 徐瑞华. 多间隔条件下的城轨交列车运行图计算机编制[C]// 交通运输工程领域博士研究生国际创新论坛会议论文集. 北京: 人民交通出版社, 2005: 75-82.  
JIANG Zhibin, XU Ruihua. Designing multi-interval train working diagram in urban mass transit system with computer[C] // International Doctoral Student Innovation Forum in Traffic and Transportation Engineering. Beijing: China Communications Press, 2005: 75-82.
- [6] 徐瑞华, 马兴峰, 宋键. 上海轨道交通明珠线共线运营方案[J]. 城市轨道交通研究, 2003(6): 682.  
XU Ruihua, MA Xingfeng, SONG Jian. Study on operation plans of shanghai mingzhu transit system network [J]. Urban Mass Transit Research, 2003(6): 682.