

城市轨道交通行车组织计算机辅助设计系统研究*

邹明辉

(中国铁路设计集团有限公司交通运输规划研究院,300308,天津//高级工程师)

摘要 在总结优化行车组织设计思路的基础上,设计了城市轨道交通行车组织计算机辅助设计系统的架构。基于人机交互技术,利用 C# 语言完善功能需求设计及优化系统数据流程,来实现各业务模块的开发,并重点对配线设计和折返能力仿真计算进行深入论述。

关键词 城市轨道交通;行车组织;计算机辅助设计系统;配线设计;折返能力计算

中图分类号 U292;TP391.72

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.06.027

Research on Computer-aided Design System of Urban Rail Transit Operation Organization

ZOU Minghui

Abstract On the ground of summarizing and optimizing design ideas of operation organization, the computer-aided design system of urban rail transit operation organization is designed. Based on human-computer interaction technology, C# is used to improve the design of functional requirements and to optimize the data flow, so that the development of various business modules is accomplished. In-depth discussion of auxiliary line design and simulation calculation of turn-back capability is elaborated.

Key words urban rail transit; operation organization; computer-aided design system; auxiliary line design; turn-back capacity calculation

Author's address China Railway Design Corporation, Transport Planning and Research Institute, 300308, Tianjin, China

在新一轮科技革命和产业变革浪潮的推动下,城市轨道交通行业信息化建设步入快速发展阶段,其建设模式、服务手段和经营方式都发生了巨大变化。城市轨道交通行车组织设计工作涉及内容繁杂、工作量大、业务逻辑复杂。由于当前这方面的信息化手段还不够完善,使得大部分工作仍依靠手工完成,效率低

下且容易出现问題。因此,亟需研发相应专业化设计软件,将大量重复性工作利用集成化思想进行模块化设计,提高工作效率、统一工作标准、提高设计工作的可靠性。部分学者已针对辅助系统总体设计,以及客流统计分析、车辆选型与编组、列车运行交路、全日行车计划、折返能力仿真计算等方面进行了一定程度研究^[2-6]。本文在理清城市轨道交通行车组织各项基本业务的基础上,从系统的需求分析、总体架构、关键技术问题等方面进行了论述,并采用 C# 语言在 Visual Studio 2017 环境下完成了行车组织的计算机辅助设计(CAD)系统的开发。

1 城市轨道交通行车组织 CAD 系统需求

一方面,随着许多大城市的轨道交通逐渐成网,基于互联互通要求的网络化运营模式正逐渐成为未来发展的主要方向。由此,在行车组织设计工作中,针对每一项指标的选取、技术方案的确定,除考虑项目自身的运营要求外,还要综合考虑既有规划线网及其设施的影响。另一方面,对于客流断面、车辆选型编组、列车运行交路设计、配线设计、全日行车计划生成、折返能力计算等方面的设计工作依然还借助 Excel、CAD 等比较分散的办公软件来完成。这种缺乏专业性的集成系统使得工作效率低下,且非常容易出错。城市轨道交通行车组织 CAD 系统集成行车组织设计工作各环节于一体,体现行车组织全过程设计。该系统使设计工程师从大量重复性、反复性工作中解脱出来,且帮助设计人员方便、快捷、准确地完成各项工作,从而规范设计流程,提高工作效率。

1) 城市轨道交通行车组织资料管理:城市轨道交通行车组织 CAD 系统通过对国内外各城市轨道交通行车组织设计工作需要的资料进行结构化整理、储

* 中国铁路设计集团有限公司科技开发重点课题(2020KF240307)

存,实现分城市、分线路、分系统制式等的查询以及集约化显示,方便用户快速找到所需资料。

2) 客流数据分析预测:设计人员既可以对客流数据进行分析、计算,以及图形表现;又可以根据现有数据,利用先进客流预测方法来对研究年度的客流数据进行预测。

3) 车辆选型与列车编组:对车辆数据进行集中化管理。用户根据项目的具体要求,综合考虑客流数据和线网车辆类型等因素确定合适的车辆类型以及制定列车编组方案。

4) 列车运行交路设计:根据项目客流的预测结果、车辆选型与编组等情况,综合考虑线网服务水平,以形成交路方案,并实现交路里程的自动化计算,最后以图形形式输出。

5) 全日行车计划:基于各时段最大客流断面,自动计算列车开行对数,生成全日行车计划。该计划是编制列车运行图、计算运输工作量和确定车辆运用的基础资料。

6) 配线设计:以往利用 CAD 等办公软件进行配线图设计时,设计人员需要进行一点一线铺画,而且在设计工作中由于方案经常反复变动而必须对配线图进行大规模改动,造成工作效率低下。因而迫切需要开发集成化设计软件,提高绘图效率与质量。

7) 折返能力仿真计算:基于车辆选型、配线形式及各项线路参数,对折返能力进行仿真计算,从而检验设计方案的合理性。

2 城市轨道交通行车组织 CAD 系统架构

城市轨道交通行车组织 CAD 系统的开发是在大量数据资料的基础上,设计针对性的逻辑算法,以及友好的操作界面。该系统架构的搭建需要考虑便于开发及易于扩展。本文基于“高内聚、低耦合”的思想,搭建了 3 层系统架构模式,将系统划分为界面层、业务逻辑层和数据访问层。各层之间通过接口相互访问。此外,为了满足海量数据存储及数据安全,需专门配置硬件设备及工作网络。

城市轨道交通行车组织 CAD 系统 3 层架构及硬件设备关系,如图 1 所示。

3 城市轨道交通行车组织 CAD 系统功能结构及数据流程

基于需求分析,城市轨道交通行车组织 CAD 系统划分为数据结构化管理、客流分析预测、车辆

选型与编组、列车运行交路、全日行车计划、配线设计、折返能力仿真计算等 7 大主要功能模块。

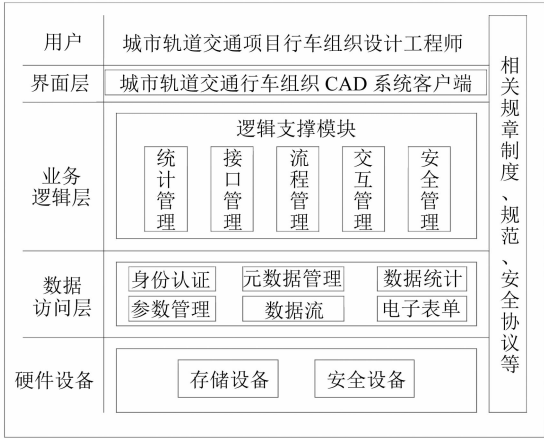


图 1 城市轨道交通行车组织 CAD 系统架构图

3.1 数据结构化管理模块

数据结构化管理模块负责对技术资料数据库进行维护管理,是城市轨道交通行车组织 CAD 系统中对提高工作效率有显著作用的 1 个模块。为方便用户查询并集约显示,基于业务逻辑,构建资料统计指标体系,对数据进行结构化储存。用户可按城市、线路、系统制式、车型、客流断面规模等 1 个或多个指标迅速获得查询数据,以提高工作效率。

3.2 客流分析预测模块

客流分析预测模块可以根据输入数据绘制区间断面客流图、车站换乘客流图、全日客流分时段比例图、车站上下客流图、乘坐站数客流图及出行距离客流图等;同时还集成了时间序列法、弹性系数、卷积神经网络等多种预测方法,以预测研究年度的客流数据,为城市轨道交通建设项目的线网规划、预可行性研究、可行性研究等各阶段的设计工作提供支撑。此外,该模块还会结合线路数据自动计算研究年度周转量。

3.3 车辆选型与编组模块

车辆选型模块根据车型数据资料中的年度客流预测数据、线路系统制式、速度目标值以及相关线网车型选择、检修设备共享等因素来选择恰当车型。编组模块根据各研究年度高峰小时最大客流断面、站立标准等确定列车编组备选方案,然后根据运能、投资等指标对备选方案进行分析比较,最终确定合理编组,并计算列车定员。

3.4 列车运行交路模块

列车运行交路模块需要针对客流预测数据进

行分析,判断全线客流的均衡程度。当全线客流较为均衡,宜采用单一交路形式,此形式运营简单、服务水平高;当线路两端客流出现明显下降时,宜采用大小交路套跑形式,这种形式可以节约运营成本,确定交路形式后可按要求格式输出。

3.5 全日行车计划模块

全日行车计划模块需要根据列车定员以及各时段的最大客流断面来计算开行对数,然后结合服务水平确定全日行车计划。

3.6 配线设计模块

配线设计模块根据线路数据与车站信息生成线路图形,再根据运行交路标记折返车站,最后结合设计规范依次确定各车站是否需要设置配线,如需布设再确定何种配线。在布设配线时,用户只需要选择何种配线,系统将根据用户选择,调用相应配线的绘制模块实现目标配线的自动化铺画,最后按用户要求格式输出。该功能省去了以往在 CAD 上一点一线的图形绘制过程,极大地提高了工作效率。

3.7 折返能力仿真计算模块

折返能力仿真计算模块是在线路配线布设完成后,针对折返站的配线形式,基于线路参数、列车参数、折返流程等,通过计算机仿真模拟来确定最终折返能力。

城市轨道交通行车组织 CAD 系统的功能结构如图 2 所示。

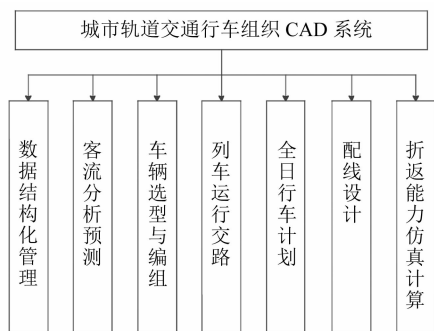


图 2 城市轨道交通行车组织 CAD 系统功能结构图

以上各模块间的数据调用逻辑为:在进行客流预测、确定车辆选型与编组时需要分别调用数据库中的客流资料、相邻线路的车辆类型等数据,同时在确定车辆选型与编组方案时还需要以客流预测数据为基础;列车运行交路的确定需要以客流预测数据和列车定员为前提进行计算,全日行车计划是在全日分时段客流预测数据的基础上结合服务水

平综合确定;配线设计模块需要调用线路数据、客流预测数据以及列车运行交路方案,按照设计规范进行铺画;折返能力仿真计算需要根据折返站配线布置形式、线路参数、车辆参数及折返流程等进行模拟计算。

城市轨道交通行车组织 CAD 系统的数据流程如图 3 所示。

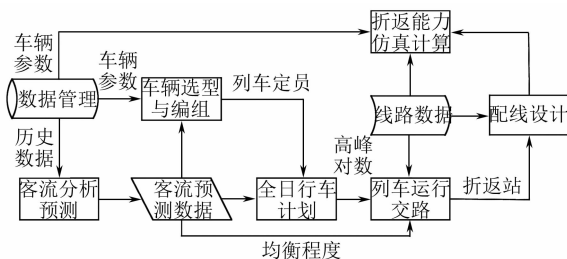


图3 城市轨道交通行车组织 CAD 系统数据流程图

4 关键技术

城市轨道交通行车组织 CAD 系统的设计定位为运输组织全流程的设计辅助系统,它能够实现客流预测,以及对该系统能力分析各个环节的辅助设计。本文重点针对目前仍没有有效计算方法的配线设计和折返能力计算两项关键技术进行专门探讨,阐述相关的模型构建和技术原理。

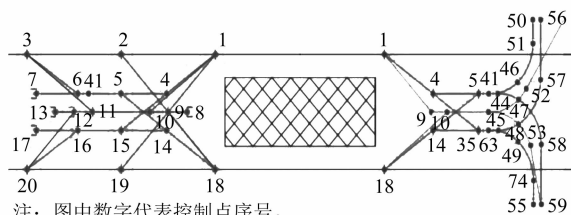
4.1 配线铺画模型构建

配线设计模块开发的目的是为了提高工作效率、统一工作标准。该模块的开发是基于模块化思想,用户通过选择配线形式即可实现配线的自动铺画及智能识别。为了实现此效果,城市轨道交通行车组织 CAD 系统建立了车站配线铺画模型。配线铺画模型构建过程如下:

- 1) 按站台布置形式将车站分为岛式站台、侧式站台、两岛三线等类型;
- 2) 按各种车站类型分别梳理所有可能的配线形式,并标记各形式配线的控制点;
- 3) 按照控制点最少且兼顾配线形式美观的原则,对各类型车站所有可能配线的控制点进行合并;
- 4) 合并后形成的控制点阵即为该类型车站的配线绘制控制点阵;
- 5) 以欧氏距离确定控制点阵中每一控制点相对于车站中心的位置。

控制点阵的位置集合即为对应车站类型的配线铺画模型。以岛式站台为例,其配线铺画模型如图4所示。

图4中显示的岛式站台配线铺画控制点共计120个,包含了各种形式的配线,如单渡线、交叉渡线、停车线、出入段线等。



注: 图中数字代表控制点序号。

图4 城市轨道交通行车组织CAD系统配线铺画模型

当用户铺画配线时,城市轨道交通行车组织CAD系统会根据鼠标所在位置自动获取目标车站中心位置,进而调用相应的配线铺画模型进行计算,确定目标车站的配线铺画控制点阵的所有控制点位置,最后通过选择配线形式,通过图形绘制模块实现配线的铺画。

4.2 折返仿真模型构建

折返能力仿真计算模块是基于元胞自动机建立折返仿真模型。采用将上下行轨道和折返配线划分为大小相同的元胞。每个元胞具有两种状态,被列车占据或空闲。在该模型中,需要标记列车所在的位置与列车运行速度,第 n 列列车的位置和速度分别用 x_n 、 v_n 表示,第 n 列列车的加速度用 a_n 表示,第 n 列列车的长度用 l_n 表示。为了便于仿真计算,需要为每一元胞赋予限速值 v_x ,该值根据系统状态动态发生变化。为了使仿真过程显示清晰,以元胞长度与道岔限速之比作为模型的时间更新步长。列车在区间运行时,其运行策略受到前方车辆位置影响;而列车进行折返作业时,其运行策略还应遵守折返作业流程。列车折返仿真实质就是在一定的规则下,不断地更新列车的速度和位置。

列车的速度、位置更新表达式如下:

$$x_{n+1} = x_n + (v_n + v_{n+1})/2 \quad (1)$$

$$v_n = v_{n+1} \quad (2)$$

其中, v_{n+1} 为 $n+1$ 列列车的速度, x_{n+1} 为 $n+1$ 列列车的位置。对于 v_{n+1} 的计算比较复杂,需要根据实际作业过程进行计算。

4.2.1 判断列车运行是否符合安全距离

若列车距前车距离大于最小追踪距离,则:

$$v_n = \min\{v_n + a_n t_0, v_{\max}\} \quad (3)$$

其中, t_0 为步长时间; v_{\max} 为线路允许最大速度。

若列车距前车距离等于最小追踪距离,则:

$$v_n = v_{n+1} \quad (4)$$

若列车距前车距离小于最小追踪距离,则:

$$v_n = \max\{v_n - a_n t_0, 0\} \quad (5)$$

4.2.2 判断列车所处位置限速

列车运行过道岔时要求列车在道岔点的运行速度符合相关限速规定。本系统将这些限速转化为每一元胞的限速,这就需要根据下一元胞的限速来预判列车的运行策略。

若列车速度大于下一元胞的限速,则:

$$v_n = \min\{v_n - a_n t_0, v_x\} \quad (6)$$

若列车速度小于下一元胞的限速,则:

$$v_n = \min\{v_n + a_n t_0, v_x\} \quad (7)$$

若列车速度等于下一元胞的限速,则:

$$v_n = v_{n+1} \quad (8)$$

其中, v_x 会随着系统状态的改变而变化。如列车过道岔时,该位置元胞限速的取值需要考虑信号机限速要求;列车进站时,若信号机未开放,列车会在信号机前停车,这时就需要列车提前降速,信号机前的若干元胞的限速取值就需要考虑停车限速;若信号机已开放,则信号机前元胞限速取值则不用考虑停车限速。在实际应用时,该值会随着系统时间步长而实时更新。

5 结语

本文针对城市轨道交通行车组织的设计需求,对系统架构、功能、设计理念进行分析,并对系统开发过程中的关键技术进行了深入研究。本系统的研发应用,对提高城市轨道交通行车组织设计工作效率、统一设计标准、规范设计流程等具有重要意义。

参考文献

- [1] 王传福,刘连连.中国城市轨道交通的发展趋势分析[J].城市轨道交通研究,2019(10):22.
- [2] 申崑,倪少权,郭秀云.城市轨道交通辅助设计系统的设计与实现[J].铁路计算机应用,2016(12):60.
- [3] 樊晓梅.城市轨道交通运营组织计算机辅助设计系统研究[D].成都:西南交通大学,2010.
- [4] 李梅,李静,魏子健,等.基于深度学习长短期记忆网络结构的地铁站短时客流量预测[J].城市轨道交通研究,2018(11):42.
- [5] 谢英豪,江志彬,徐瑞华.城市轨道交通断面客流数据可视化分析及优化[J].城市轨道交通研究,2017(1):69.
- [6] 徐瑞华,石俊刚.基于元胞自动机的列车站前折返仿真模型[J].系统仿真技术,2011(4):273.

(收稿日期:2020-09-24)