

# Research on Automatic Train Operation Adjustment of Intelligent CTC System of High-speed Railway

Yaozong Qin Shiheng Zhao

China Railway Jinan Bureau Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

## Abstract

Punctuality is an important guarantee of high-speed railway reliability, but in the process of high-speed railway operation by emergencies, equipment failure and bad weather, the train to arrive at the station time deviate from the planned operation problems, so in the process of scheduling will involve the train operation adjustment work, by adjusting the train to restore order as soon as possible, control the late spread. As intelligent railway dispatching command system of intelligent CTC system need to have the train running automatic adjustment function, but the existing CTC system adjustment function is not perfect, still have some dependence on manual operation, the train adjustment way is difficult to adapt to the development trend of the railway intelligentization, need to further enhance the level of automation and intelligent CTC system, to upgrade it to intelligent CTC system. Based on this, this paper analyzes the structure and model of automatic adjustment system, and verifies the model with case scenarios.

## Keywords

high-speed railway; intelligent CTC system; train operation adjustment; intelligent railway; rail transit

## 高速铁路智能 CTC 系统列车运行自动调整研究

秦耀宗 赵世恒

中国铁路济南局集团有限公司调度所, 中国·山东 济南 250000

## 摘要

正点率是高速铁路可靠性的重要保障,但高速铁路运行过程中受突发事件、设备故障以及恶劣天气等因素的影响容易发生列车到达车站时刻偏离计划运行图的问题,因此在行车调度过程中会涉及列车运行调整工作,通过调整使列车尽快恢复运行秩序,控制晚点传播。作为智能铁路调度指挥系统的智能CTC系统需要具备列车运行自动调整功能,但现有的CTC系统的调整功能不够完善,依然对人工操作存在一定的依赖性,这种列车调整方式难以适应铁路智能化发展趋势,需要进一步提升CTC系统的自动化与智能化水平,将其升级为智能CTC系统。基于此,论文分析了列车运行自动调整系统结构与模型,并结合案例场景对模型进行验证。

## 关键词

高速铁路; 智能CTC系统; 列车运行调整; 智能铁路; 轨道交通

## 1 引言

高速铁路虽然具有较强的可靠性,但并不能 100% 保证列车到站时间完全符合计划运行图要求,因此在行车调度工作中需要进行列车运行调整。近年来针对列车运行调整方法相关专家学者进行了广泛、深入的研究,并取得了大量的成果,但现有研究多局限于理论层面,在实际的列车运行调整工作中依然对人工操作有着较强的依赖性。当前高速铁路行车调度指挥主要借助 CTC 系统,但 CTC 系统的智能化水平不高,会严重影响列车运行调整工作效率,难以满足高速铁路发展需求。因此应进一步深入研究,提升 CTC 系统智能化水平,打造智能 CTC 系统,助力行车调度工作的高效

开展。

## 2 列车运行自动调整系统结构

### 2.1 系统设计原则

列车运行自动调整系统是在 CTC 系统基础上的进一步优化和发展,是对 CTC 系统的补充和完善,因此列车运行自动调整系统的设计不能对 CTC 系统的功能造成影响,并且要保证在列车运行自动调整系统发生故障而无法运行时不能对 CTC 系统中其他设备造成影响。设计的列车运行自动调整系统一方面要强调其智能化水平与自动化水平,但依然要保留人工定制功能,调度员依然掌握列车运行阶段计划的决定权。系统的设计需要构建关键信息数据库,为列车运行调整逻辑提供基础数据<sup>[1]</sup>。另外模型构建也是系统设计的重要关键问题,构建完善的模型可以为调整策略的预设提供必要支持。这样一来,针对列车受不可控因素影响而出现与

【作者简介】秦耀宗(1987-),男,中国山东滕州人,本科,工程师,从事高速铁路运输及行车调度研究。

运行线出现偏差时，系统便可以实时生成调整计划，在无需人工操作的情况下自动完成调整。

## 2.2 系统硬件结构

列车自动调整系统硬件结构主要包括全局运行图调整终端、分台运行图调整服务器等。在系统硬件结构中，不同的结构有着不同的作用，如全局调整数据库服务器的作用主要体现在储存列车运行相关数据。

## 2.3 系统软件结构

列车自动调整系统软件结构主要包括 CTC 主系统、通信模块、调整模块、约束条件模块以及现实模块等。在系统软件结构中调整模块主要负责调整列车运行阶段计划；显示模块主要负责显示用户图形界面；约束条件模块主要负责检测与约束调整后的列车运行阶段计划。无论是调整模块、显示模块，还是约束条件模块，其数据基础均为运行图对象。除此之外，系统软件结构还包括通信模块，该模块为自动调整系统与其他子系统之间的接口<sup>[2]</sup>。

# 3 列车运行自动调整模型

## 3.1 模型假设

默认在列车开行方案中已经确定了列车的走向路径以及车站技术作业，并且在调整时相关内容不会改变。默认在列车开行方案中已经确定了各动车组交路，并且动车组的接续关系不会在调整过程中发生改变。出于当前智能 CTC 系统在调度区段部署尚处于计划阶段的实际考虑，模型不考虑多个调度区段的列车调整，仅针对单个调度区段列车运行调整。默认车站调车作业由人工方式完成，本系统只针对车站列车作业进行自动调整。默认高速铁路线路均为双线，因此不涉及列车间的会让情况，模型只涉及列车间的越行，不涉及会让。

## 3.2 参数定义

在建模过程中，针对列车的相关车站作业以及各种车站作业之间的关系主要通过 EAN 来表示，EAN 即事件 - 活动网络图。事件 - 活动网络图借助  $N=(E, A)$  表示，其中 E 代表列车事件集合，A 则代表列车活动集合<sup>[3]</sup>。详见图 1。

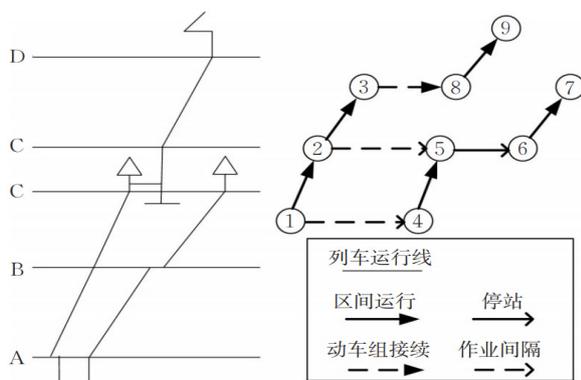


图 1 列车运行图及对应的事件 - 活动网络图

## 3.3 模型约束条件

以当前理论研究为基础，并针对理论研究中存在的局限以及实际调度工作中遇到的问题，同时参考相关技术标准提出具体的模型约束条件。具体来讲，主要包括以下几项约束条件。

### 3.3.1 区间运行时间约束

在以往针对区间运行时间约束的研究中主要存在两方面问题：一方面，有的理论研究过程中会将区间运行时间做刚性处理，即将列车运行阶段计划中列车区间运行时间看作是固定值，应用图与运行时间一致。另一方面，在图定时间的基础上，列车区间运行时间能够延长，区间运行时间只要不小于图定时间即可。但在设计的调度工作中，通常都会在图定运行时间中预留一定的缓冲时间，受此影响使得列车实际上通过区间所需的时间往往要小于图定时间，而预留出的这部分缓冲时间则可以用作调整列车晚点，逐渐追回晚点时间，并最终在相应车站将停站时间恢复正点，利用区间缓冲时间的方式逐渐追回列车晚点，将列车晚点范围降到最低，减少列车晚点造成的不利影响<sup>[4]</sup>。同时在调度工作中并不能够无限延长列车的区间运行时间。因此需要对区间运行时间进行约束，为列车区间运行时间设置合理的上限，确保列车的区间运行时间合理，并与实际情况相契合，这样才能更好地保障模型的求解效率。

### 3.3.2 停站时间约束

针对列车停站时间的研究普遍认为列车停站时间应大于或者等于最小停站时间，但针对最小停站时间的研究则存在一定的局限。如有的研究认为其为最小停站时间作为车站的参数之一，与车站等级相关，其模型中该变量下标为车站。但设计上如果按照这种方式构建模型，则默认了车站技术作业固定，且不可改变，包括送餐、上水以及吸污等。但实际上经停同一车站的不同列车涉及的车站作业项目可能不同，因此最小停站时间不仅与车站有关，同时还与列车有关。上述研究仅局限于车站，未考虑列车因素。因此应将最小停站时间定义为某列车在某站的最小停站时间。

### 3.3.3 车站间隔时间约束

车站办理同方向相邻列车接发车作业的时间间隔应大于或者等于对应车站安全间隔时间。目前在国内针对车站安全间隔时间共分 8 类，不同间隔时间类别的取值也有明确的说明，在本模型的设计与构建过程中按照相关技术标准合理取值。

### 3.3.4 发车时刻约束

发车时刻约束主要体现在确保列车发车时刻不早于图定发车时刻，在行车调度中发车时刻约束至关重要。如果列车发车时刻早于图定发车时刻，则会导致旅客错过列车，严重影响旅客出行体验，甚至会造成严重后果。因此要做好发车时刻约束，确保经过调整后的列车的运行阶段计划中其发车时刻不早于图定发车时刻。

### 3.3.5 股道冲突约束

有的研究在模型假设中将车站简化为1个点,未能考虑股道的因素,同时也忽略了车站站型,因此研究存在一定的局限性。实际上如果在模型假设中不考虑股道因素则会引发股道冲突,同时也难以生成合理的列车运行阶段计划。因此模型假设过程中需要充分考虑股道冲突约束。首先要确保同一时刻只能有1列列车占用某股道,如果某股道已经有车停靠,则其他列车不能接入。其次应确保列车进站接车股道与出站发车股道一致。

### 3.4 模型求解算法

按照本文上述方法所构建的调整模型属于有约束非线性优化模型,针对此类模型求解算法的研究已经比较成熟,如基于粒子群的智能优化算法,此类算法不仅具有并行性的特点,同时收敛速度较快。由于针对此类模型的求解算法的研究比较广泛且比较成熟,因此本文在此不再赘述。

## 4 案例分析及现场应用

### 4.1 模型案例分析

论文选取济南局部署智能CTC系统的某调度台的实际场景进行案例分析。对因区间封锁而进行的列车运行调整场景进行模拟,列车上行线受区间故障因素的影响而进行上行区间封锁,封锁时间为上午10时20分至上午10时45分,在上午10时45分封锁结束后列车方能发车,因此需要对列车运行做出调整。调整过程中对模型设定相应的参数,在此基础上再将该场景导入模型,此时模型便会结合参数与场景自动制定列车运行阶段计划,并将调整后的计划输出。调整后的列车运行阶段计划以上午10时45分为发车时间,并通过压缩停站时间以及等方式逐渐追回晚点时间,并最终在第7站的停站时间恢复正点,并且在整个过程中未出现列车接发车股道变化的情况,同时也未对其他列车的运行造成影响。这充分说明了模型能够合理处理这种情况,能够对列车运行做出科学的调整,并借助压缩冗余站停时间以及利用区间缓冲时间等方式逐渐追回列车晚点,科学计算多方向车站的股道运用,充分考虑动车组上水,吸污以及固定股道等因素影响,减少车站咽喉区的进路冲突,将列车晚点范围降到最低,降低列车晚点造成的不利影响。除此之外,模型根据旅客列车客票发售和候车室候车旅客等信息,参与处理临时

变更接发列车股道选择确认等问题,能达到预期效果。

### 4.2 现场应用及未来发展

在济南局新建铁路以及针对既有高铁线智能高铁改造过程中,已经开始逐步部署智能CTC系统,并且在部分线路上已经成功上线运行。但针对智能CTC系统的部署多集中在新开线路,且尚未实现全线贯通。目前由于主要在新开线路中部署智能CTC系统的部署,因此系统所处理的列车运行场景并不复杂,对系统的性能要求不高。未来,针对智能CTC系统的研发将进一步深入,系统的稳定性与可靠性也会随之不断增强,系统的自动化与智能化水平也会越来越高,系统的部署也会更加广泛,进而推动高速铁路行车调度指挥智能化水平的提升。同时在实际过程中也能进一步验证系统性能,并结合实践过程中出现的新问题不断优化与完善模型,使其能够适应高密度行车场景,提升系统的智能化水平,使其更好地为调度指挥工作服务。

## 5 结语

CTC系统是当前高速铁路行车调度指挥中应用十分广泛的辅助系统,但该系统的智能化水平有待提升,对人工操作存在较强的依赖性,会在一定程度上影响行车调度工作的效率和质量,同时也难以适应铁路智能化发展。因此提升CTC系统智能化水平,构建智能CTC系统成为当前研究的热点。广大专家学者就此进行了广泛深入的研究,但研究多停留在理论层面。本研究针对以往研究中存在的局限以及现实中存在的问题,对CTC系统进行优化,并通过案例证明系统的运行能够达到预期效果。未来随着智能CTC系统功能的不断完善与优化,其发挥在调度指挥中所发挥的作用也将更加显著,其应用范围也会不断拓展。

### 参考文献

- [1] 屈利杰,吴强,杨苡辰,等.基于智能运维系统列车跳站问题研究[J].智慧轨道交通,2023,60(5):62-66.
- [2] 乔宇.高速铁路智能调度集中系统构想及关键技术[J].铁路计算机应用,2023,32(3):29-33.
- [3] 李智,端嘉盈,曾壹,等.基于智能化应用的列车运行调整模型[J].中国铁道科学,2021,42(2):173-182.
- [4] 李智,张涛,许伟等.高速铁路智能CTC系统列车运行自动调整研究[J].交通信息与安全,2020,38(6):122-128+144.