

# 北京轨道交通燕房线全自动运行示范工程设计

罗志兵

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//高级工程师)

**摘要** 北京轨道交通燕房线全自动运行系统的设计是在传统城市轨道交通线路设计方案基础上进行的。针对配线条件和停车列检库库线长度,简要分析了新设计方案的可行性,并阐述了新方案设计原则。详细论述了该线路全自动运行系统几个主要专业系统的新增功能和增强功能,总结了该项目的特点特点和设计经验。

**关键词** 城市轨道交通;北京燕房线;全自动运行;方案设计

**中图分类号** U231.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.01.011

## Design of Yanfang Line FAO Demonstration Project in Beijing Rail Transit

LUO Zhibing

**Abstract** Yanfang Automatic Operation Demonstration Line in Beijing rail transit is built on the basis of traditional rail transit design scheme. According to the distribution conditions and the length of train stop inspection depot, the feasibility of new

design scheme is analyzed, and the design principle of which is expounded. The newly enhanced functions of major professional systems on Yanfang Demonstration Line are discussed in detail, the design features and experiences of the project are summarized.

**Key words** urban rail transit; Yanfang Line in Beijing; fully automatic operation; scheme design

**Author's address** Shanghai Tunnel Engineering Rail Transit Design and Research Institute, 200235, Shanghai, China

北京轨道交通燕房线(以下简为“燕房线”)是连接房山区燕化工业园区与老城区组团的一条郊区高架线路。图1为燕房线线路示意图。燕房线主线线路全长14.4 km,设8座车站,平均站间距约为1.9 km;支线全长6.1 km,设3座车站(不含与主线接轨的饶乐府站)。主用控制中心设于小营线网控制中心,备用控制中心设于阎村北停车场的综合楼。



图1 燕房线线路示意图

## 1 工程背景及设计原则

燕房线主线原已按传统城市轨道交通线路要求完成了初步设计。在2013年5月,建设单位根据北京市政府对城市轨道交通建设科技创新的总体要求,结合燕房线线路规模及特点,决定将燕房线

作为全自动运行示范线工程,要在规划红线、线路走向及车站配线等线路条件均已基本确定的前提下,对燕房线按全自动运行线路进行深化设计。由于燕房线按全自动运行要求的新设计方案(以下简为“新方案”)是在原初步设计基础上进行,因此,需要重新分析其可行性。新方案是否可行,主要取决

于原设计的配线条件和停车列检库库线长度能否满足全自动运行的需求。

### 1.1 原配线条件分析

燕房线主线的 8 座车站中,有配线的车站共 5 座。位于线路中段的顾八路站还设有故障列车停车线。燕房线车站配线图如图 2 所示。

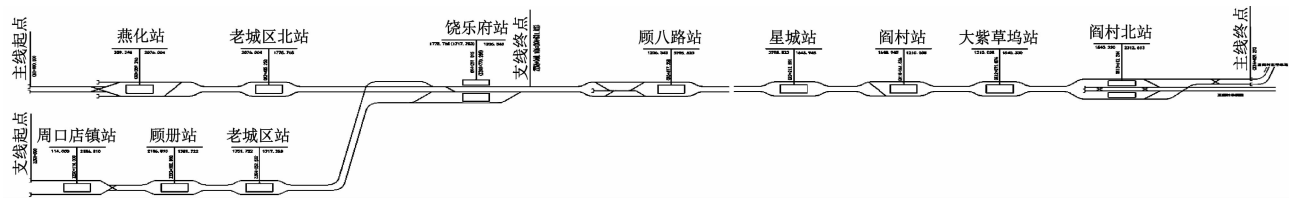


图 2 燕房线车站配线示意图

因此,原线路配线设计能满足全自动运行的需求。

### 1.2 停车列检库库线长度

阎村北停车场原设计有 9 股道 18 列位的停车列检线。根据全自动运行列车休眠、唤醒功能的需要,正常运营时中心调度员能根据列车时刻表远程唤醒列车。经核算,为满足全自动运行的列车动静态检测需要,原停车列检库库线长度需要增加 36 m。

### 1.3 设计原则

结合燕房线建设单位的需求,新方案需遵循以下主要设计原则:

- 1) 核心设备系统应具有高可靠性和高可用性;元器件及部件的性能应稳定、可靠;列车及系统应具备“自愈”能力,即使有故障发生,也能保证列车正常运行。
- 2) 列车按 GOA(自动化等级)4 设计。考虑运营初期有司机驾驶的要求,列车运行应能由 ATO(列车自动运行)模式无缝切换到 UTO(全无人驾驶)模式。
- 3) 综合监控系统采用深度集成信号 ATS(列车自动监控)子系统的列车综合自动化系统(TIAS),能有效提高线路自动化水平。
- 4) 车辆采用自动车钩,可实现车辆之间控制总线、电路、气路、通信线路的重联,能实现故障车辆救援时的自动联挂功能。
- 5) 按照全自动运行的运营管理要求,在控制中心设置乘客调度、车辆调度和维修调度席位,并设置适应全自动运行的车站运维组织机构,建立多职

燕房线车站配线的特点为:① 具备配线的车站数占全线车站数比例高,能满足全自动运行线路应具备灵活组织运行交路的要求;② 燕化站站后折返线及顾八路站停车待避线具备停车功能,可以设计为具备远程休眠、唤醒功能的停车线,以满足全自动运行线路功能需求。

能巡视队伍来参与运营管理。

## 2 核心系统新增功能和增强功能

全自动运行系统是高度集成、精确监控的机电、列车和土建一体化系统。全自动运行线路的核心系统包括车辆、信号、通信及综合监控等专业的子系统,以及停车场和控制中心等设施。核心系统的功能水平决定了线路的全自动功能实现水平。与原设计相比,燕房线新方案新增了 36 项功能,并增强了 23 项原功能。

此外,新方案对 5 座配线车站进行了优化配置,以满足全自动运行线路救援及灵活组织行车交路的基本要求。为提高故障工况下车站处理事件的效率,在每侧站台中部新增 1 处站台监察厅,并将一些分散的现场级控制按钮集中设置,便于多职能管理人员对站台区设备的管理。

### 2.1 车辆专业子系统

车辆运行可选择 FAO(全自动运行)模式和传统的人工驾驶模式。驾驶室设有司机门及轻质隔断,空间相对封闭。驾驶台上有可翻转的盖板。在 FAO 模式下,盖板盖下;在人工驾驶模式下,盖板翻转打开,司机按常规方式驾驶列车。新方案中的车辆专业子系统新增功能和增强功能如表 1 所示。

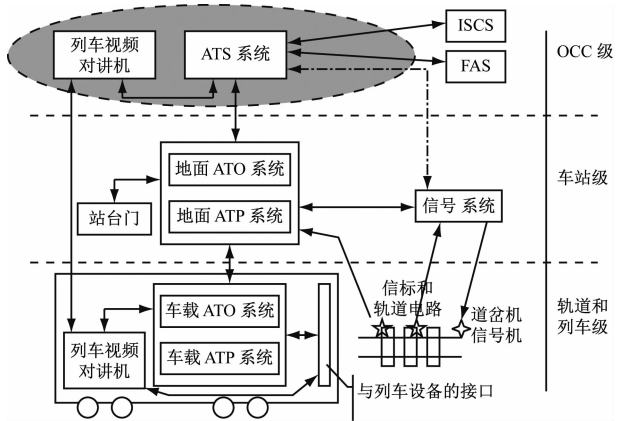
### 2.2 信号专业子系统

燕房线列车的唤醒、休眠、出/入库、正线运行、自动折返、自动洗车等作业均由信号系统自动控制完成。正线信号系统采用完整的 ATC(列车自动控制)系统,停车场采用与正线一致的信号 ATC 系统。图 3 为燕房线信号系统总体架构图。燕房线信

号专业子系统新增功能及增强功能如表 2 所示。

表 1 燕房线车辆专业子系统新增及增强功能表

功能类型	功能描述
新增功能	车辆自动唤醒、自检、自动休眠
	车辆状态、故障报警信息上传
	障碍物检测及列车脱轨检测
	低压系统远程合闸
	司机操作台可翻转盖板
增强功能	客室照明具有感应光照自动调节
	车辆关键系统具备热备份功能,各子系统均为冗余配置
	火灾报警
	车门系统控制
	电磁兼容性
	头车车钩联挂后具有指令传输
	列车空转滑行控制与信号系统联动
	广播系统自动报站、声音采集、故障检测记录



注:OCC 为运行控制中心;ATP 为列车自动保护;ISCS 为综合监控系统;FAS 为火灾报警系统

图 3 燕房线信号系统总体架构图

ATC 系统采用区域分布式结构。全线共设 2 个控制分区,每个分区设 1 套计算设备来完成本区域内 ATP 或 ATO 功能的运算。控制中心只设置 ATS 子系统的中心设备。

阎村北停车场划分为全自动运行区域和非全自动运行区域。其中,全自动运行区域的列车均采用 FAO 模式。为提高整体自动化水平,信号系统增设了分别同自动洗车机及车库门相接的接口,且牵出线也设有全自动运行线路与非全自动运行线路的转换轨,供驾驶模式转换时使用。

2.3 综合监控专业子系统

燕房线综合监控专业子系统采用的 TIAS,除了

具有原综合监控系统所有功能外,还加强了列车火灾、乘客报警、车辆故障、站台门状态等联动和信息整合,并增加了控制中心调度员对车厢乘客的广播、视频监控及对讲、车辆设备的管理监控和联动等功能。表 3 为燕房线综合监控专业子系统的新增功能及增强功能表。

表 2 燕房线信号专业子系统新增功能及增强功能表

功能类型	功能描述
新增功能	停车场全自动运行区域设备配置与正线一致
	停车列检库列车位置检测设备
	自动洗车
	全自动驾驶及蠕动驾驶模式
	与站台门/车门故障对位隔离
增强功能	SPKS(人员防护开关)
	与停车列检库库门联动
	信号系统采用完整的 ATC 系统,各子系统均冗余配置
	自诊断及中央远程监督控制
	列车自动折返
增强功能	列车常规驾驶模式
	列车对位自动调整
	应急运行模式
	列车工况管理,包括唤醒、调车、正线服务、洗车、休眠等

表 3 燕房线综合监控专业子系统新增及增强功能表

功能类型	功能描述
新增功能	集成了信号 ATS 子系统
	乘客调度
	对车辆运行信息与故障信息的监测,对初始化参数的下发
	车辆调度检修
	控制中心对车辆广播控制
增强功能	对停车场、区间视频监控设备控制
	对停车场广播设备控制
	紧急情况下中心调度员远程控制车门开/关
	控制中心对车载 CCTV(闭路电视)监控
	控制中心对车载 PIS(乘客信息系统)监控
	与车站、停车场全自动运行区域门禁系统接口

2.4 通信专业子系统

根据全自动运行需求,通信专业子系统需为控制中心调度员提供运行车辆现场图像、故障信息及相关联动调度指令的传输通道。为此,通信专业子

系统新增了车载视频上传、车载对讲电话及控制中心调度员对列车广播等功能。表 4 为通信专业子系统新增功能及增强功能表。

表 4 燕房线通信专业子系统新增及增强功能表	
功能类型	功能描述
新增功能	新增车载 PIS 与车辆的接口,实现车载摄像机与车辆设备(对讲电话、紧急拉手)的联动
	新增车载视频系统与车辆的接口,中心调度员可对车辆上的特殊事件(门拉手动作、紧急制动、紧急对讲、火灾报警等)进行远程监控
	新增区间及列车驾驶室摄像机,使中心调度员能对驾驶室及列车前方的状况及时监视
	新增专用无线调度系统与车辆的接口,能使中心调度员对车辆广播和与乘客对讲
增强功能	车地通信传输通道的带宽和质量
	通信车载设备的安全性、稳定性

2.5 停车场

全自动运行线路停车场,是将一束或几束与正线运营紧密相关的线群纳入正线全自动运行控制系统中,将正线对列车的运营控制权由正线延伸至停车场的全自动运行区域。

全自动运行区域内列车采用全自动运行模式,完成在库内的唤醒、出/入场、洗车及休眠等作业。停车场全自动运行区域应与正线一致,须配置完整的 ATC 系统。图 4 为阎村北停车场总平面布置示意图。

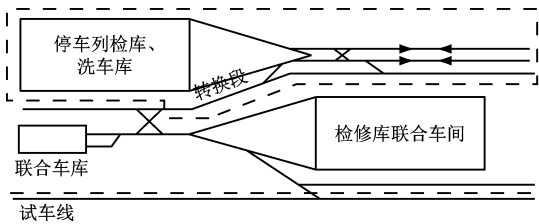


图 4 燕房线阎村北停车场总平面布置示意图

燕房线阎村北停车场采用倒装式整体布局,其土地利用率高,容易分隔全自动运行区与非全自动运行区。自动洗车库设置在自动化运行区域,试车线设置在非自动化运行区域。表 5 为阎村北停车场新增功能及增强功能表。

2.6 控制中心

根据全自动运行的技术特点,由控制中心对全自动运行的列车运行、列车乘客、运行环境等进行全过程监控与服务,并为实时调配人力、物力资源创造条件。燕房线设置了主用控制中心和备用控

制中心。

表 5 燕房线阎村北停车场新增功能及增强功能

功能类型	功能描述
新增功能	全自动运行区域,由信号系统控制列车全自动运行
	全自动运行区域与非全自动运行区域的隔离设施,并增设门禁系统
	全自动运行区域门禁系统与信号、行车自动化、供电的联锁
	停车列检库划分若干防护分区,增设通往各防护分区的地下联络通道
	自动洗车机与信号系统的接口,实现全自动洗车试车线全自动运行的测试
增强功能	停车场检修防护系统
	将全自动运行区域停车列检库库门设置为自动门,增加信号系统与库门的联动
	全自动运行区域火灾报警系统、广播系统、视频监控系統,并增加各系统的联动

主用控制中心席位包括 2 个行车调度、2 个乘客调度、2 个设备调度、1 个车辆调度、1 个维修调度和 1 个总调度。备用控制中心采用同样的席位设置及系统配置。

3 燕房线设计特点

3.1 需求不明确,边研究边设计

燕房线是国内首条全自主知识产权的全自动运行线路,既没有完全适用的设计规范及标准,也没有相关的建设经验及运营经验。为完成庞大复杂的设计,项目组以场景分析为切入点,先梳理归纳运营需求,再分解编制体现各专业需求的场景文件,并以此作为开展各专业系统设计的基础。闭环设计流程(见图 5)贯穿了工程实施的全过程,体现了边研究边设计的特点。

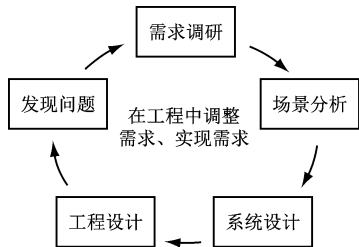


图 5 闭环设计流程图

3.2 子系统多、集成度高

燕房线采用深度集成信号 ATS 子系统的 TIAS 整合方案,体现出系统的高集成特性,提高了项目的整体自动化水平。

### 3.3 安全评估要求高

与传统城市轨道交通线路相比,全自动运行线路除了需要提高核心系统的可靠性、可用性及安全性指标外,还需提高整个系统的应急处理及灾害救援能力,并提高对作业人员人身安全的保障。燕房线设计了针对七大专业系统的独立第三方安全评估。安全评估以工程安全性为评估内容,涵盖了车辆、信号、行车综合自动化、通信、轨道、站台门及车站设备(电梯和电扶梯)等专业,提高了工程项目的整体安全性指标,增强了项目应急处理及灾害救援的能力。

### 3.4 要制定新的运营规则,建立新的运维组织架构

在不断细化运营场景的过程中,同步编制与核心系统设备技术水平相适应的运营规则,并相应建立新的全线运维组织架构。燕房线打破了传统运维管理模式,建立了集约化的管理体系,重点培训一职多能的运维队伍,发挥了全自动运行系统高可靠性、高稳定性、高自动化水平的优势。

## 4 经验总结

燕房线的闭环控制设计是在时间紧、运营及建设需求不清晰的情况下所采取的特殊设计方法。结合燕房线的建设经验,全自动运行项目的工程科学化设计应具备以下特征:

1) 建立基于全生命周期的 V 型设计模型。全自动运行系统相对传统城市轨道交通而言,具有高安全性、高可靠性和高可用性的特点。国际上对高安全性工程项目,一般根据 BS EN 50126:2017《Railway Applications-The specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)》,采用 V 型周期控制方法。V 型周期控制是一种逐级垂直审查和横向验证的方法。根据 V 型周期控制方法,在项目初期提出较为完整的全自动运行系统运营需求,并以此作为用户需求;在此基础上,由上至下顺次进行功能定义、系统设计、 subsystem 设计、单元设计直至进行生产制造,其中每个过程都需要横向验证。图 6 为 V 型设计模型示意图。

2) 建立工程项目 RAMS(可靠性、可用性、可维修性及安全性)管理体系。鉴于全自动运行系统的技术特征,为充分保证工程项目功能的实现,需要引入国际通行的 RAMS 管理方法。RAMS 管理是

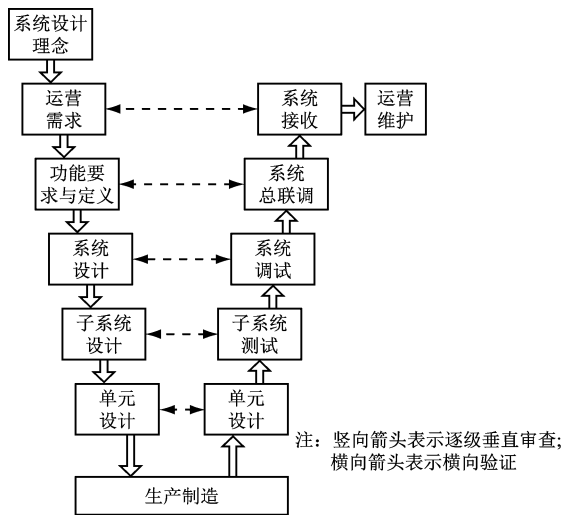


图 6 V 型设计模型示意图

以事故预防为中心,预先进行安全分析与评价,从工程可行性研究的安全论证开始,包括安全设计、安全审核、安全评价、规章制度、安全检查、安全教育和训练,以及事故管理等各项工作,对安全进行量化分析,为安全管理、事故预测和选择最优化设计方案提供科学的依据。

3) 建立由核心系统负责管理的设计模式。全自动运行项目涉及多专业多系统,应在传统的设计总体院负责制基础上建立由核心系统负责管理的设计模式。由设计总体院组建由核心系统某专业为主体负责的联合设计团队。担当主体负责的专业可以是信号专业,也可以是车辆专业或者综合监控专业。通信、站台门、车场及控制中心工艺设计等专业也要参加联合设计团队。这种由核心系统负责管理的模式同样适用于全自动运行系统的单项调试和联合调试管理。

4) 适度的系统集成。高安全性、高可靠性、高可用性、高自动化水平是全自动运行项目不断追求的目标,但在工程设计中不能片面的追求“四高”,要平衡各项性能的辩证关系。例如,超大规模的系统集成在追求高自动化水平的同时,却会降低系统的整体可用性指标。因此采用适度的系统集成度设计是平衡“四高”的有效手段。

## 参考文献

- [1] 上海申通轨道交通研究咨询有限公司. 城市轨道交通无人驾驶应用研究[R]. 上海:上海申通轨道交通研究咨询有限公司,2010.

(收稿日期:2018-02-05)