

# 胶轮路轨自动旅客运输系统车辆灵活编组设计

王 振 许彦强 刘东亮 王 洋

(中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司, 241060, 芜湖//第一作者, 工程师)

**摘 要** 胶轮路轨自动旅客运输 (APM) 系统车辆灵活编组功能的设计理念是为了能够实现不固定编组的列车运营。基于 APM 列车需具备快速扩编或减编的要求, 提出了基于灵活编组的 APM 列车车辆配置和增、减编组作业流程, 重点对实现灵活编组下列车长度信息检测展开了研究。提出的电路设计可用于轨旁 ATP (列车自动防护) 虚拟占用确认, 以适应车辆的换端联挂或不换端联挂。

**关键词** 自动旅客运输; 胶轮路轨; 车辆编组

**中图分类号** U292.3<sup>+</sup>1; U239.8

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2019.10.008

## Free Vehicle Marshaling Design of Rubber Tyre APM System

WANG Zhen, XU Yanqiang, LIU Dongliang, WANG Yang

**Abstract** The functional design concept of APM free marshaling is to achieve the goal of train operation without fixed formation. According to the requirements of APM train rapid expansion and reduction, the vehicle configuration and work flow of increasing or decreasing train marshaling based on free APM vehicle marshaling are proposed. The train length information detection in free APM vehicle marshaling condition is mainly addressed. The proposed circuit design could be used for visual occupation conformation of trackside ATP (automatic train protection), so as to adapt to the end-to-end coupling or no-change connection of vehicles.

**Key words** APM; rubber tyre APM; vehicle marshaling

**Author's address** CRRC Puzhen Bombardier Transportation Systems Ltd., 241060, Wuhu, China

目前, 国内城市轨道交通一般将列车灵活编组定义为列车的编组扩充, 即: 线路运营的初期和近期采用 4 辆编组、远期采用 6 辆编组; 或非高峰时段开行固定 4 辆编组、高峰时段开行固定 6 辆编组。这两种编组扩充方式, 前者可以在满足客流需求前提下节省工程初期投资, 降低日常运营能耗; 后者则是在不降低服务水平 (运营间隔) 的前提下满足

客流的运输需求。

国外的一些轨道交通项目做到了列车不固定编组和随时扩编运行。在机场轨道交通项目中, 面对机群集中到达、不同机型到达、晚点等情况, 经常性地临时实施灵活编组很有必要。这就要求车辆具备快速、方便的增编和减编功能, 以实现客流与列车运输能力的平衡匹配。

## 1 车辆灵活编组的总体技术方案

胶轮路轨制式的自动旅客运输 (APM) 系统是一种先进的自动导向胶轮车辆系统, 其车辆具备经济实用、运行安全可靠、使用维护方便、乘坐舒适等优点。

### 1.1 车辆编组

APM 车辆具备了真正意义上的灵活编组技术, 可以实现 1~6 节编组的任意编组运行。

目前北京首都机场线、广州珠江新城 APM 线、深圳宝安机场 APM 线、成都天府国际机场 APM 线等项目均采用了灵活编组的 APM 车辆, 用于应对变化多样的客流组织: 非高峰时段采用 1~2 节编组运行, 高峰时段采用 3~4 节编组运行。图 1 为 APM 车辆灵活编组示意图。

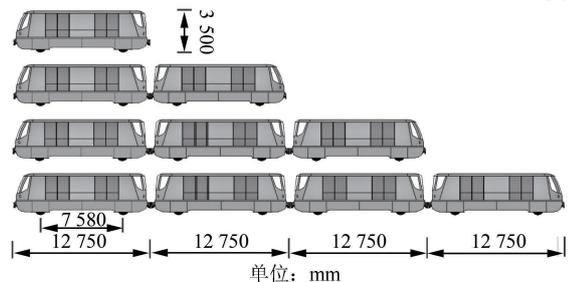


图 1 APM 车辆灵活编组示意图

### 1.2 车辆基本参数

APM 车辆采用无人值守全自动运行模式, 最高运行速度为 80 km/h, 能够适应 10% 的最大坡度及 22 m 曲线半径的线路条件。

车辆的全自动无人驾驶是基于移动闭塞式信号技术,即使单节车也能够实现全自动运行,其车辆的技术参数如表1所示。每辆车两端均配置了全自动车钩,可实现快速联挂解编。

表1 APM 车辆技术参数

项目	基本信息或参数
车辆类型	PBTS 型
列车编组	1~6 节
额定载客量(6人/m <sup>2</sup> 计)	146 人/车
最小水平曲线半径/m	22
最小竖曲线半径/m	110
最大坡度/%	6(困难条件下10)
车内噪声/dB(A)	≤68(静态), ≤75(动态)
车外噪声/dB(A)	≤68(静态), ≤76(动态)
车辆长度(车钩面)/mm	12 750
车辆长度(车体)/mm	12 026
车辆宽度/mm	2 850
车顶距走行面高度/mm	3 390
车内地板面距天花板高度/mm	2 033
车门净宽/mm	1 980
车门高度(门槛处)/mm	1 960
车门间隔/mm	4 572
轴距/m	7 580
轮距/m	2 050
轴重/t	14
供电系统	DC ±375 V 接触轨
牵引控制	变频变压控制、交流异步电机
车辆导向	中央导向轨
制动	再生制动/电制动/摩擦制动
悬挂	空气弹簧
转向架	每车2组车桥
走行轮	每车4条防爆胎
车体	轻量化铝合金
车门	每侧2组对开外挂门
最高设计速度/(km/h)	80
起动加速度/(m/s <sup>2</sup> )	1.0
常用制动减速度/(m/s <sup>2</sup> )	1.0
冲击极限/(m/s <sup>3</sup> )	0.75

### 1.3 车辆主要配置

APM 车辆每车均设计为动车,拥有相同的配

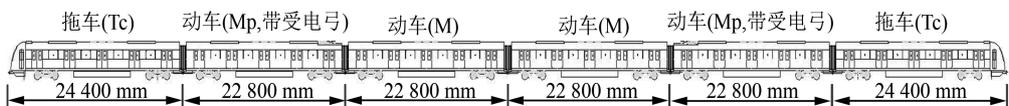


图2 常规6节编组轨道交通列车示意图

### 1.4 灵活编组的列车系统架构

APM 车辆未设计列车级的供电系统架构,每辆车的供电系统只提供本车的牵引及辅助供电。其牵引性能可实现在丧失一半动力的情况下能维持列车继续运行,并可保证多节编组列车中某辆车发

生供电故障的情况下,仍然能够运行至下一个车站再退出运营。图3为APM 6节编组列车在满载(AW2)工况下丧失一半动力的牵引仿真,因6节编组列车共有12个电机,图3为其中6个电机失效下的情况。

置,包括车载信号系统、网络控制系统、受流系统、牵引系统、制动系统、辅助供电系统、空调系统、车载通信系统及动力转向架等。车辆两端配置全自动车钩,电钩上设计了动态触点、固定触点和网络触点3种触点,用于实现车辆的快速联挂。

表2 常规轨道交通列车与 APM 系统的车辆主要配置对比表

对比项目	常规轨道交通列车配置量/个						APM 系统单车配置量/个
	Tc	Mp	M	M	Mp	Tc	
车体连接系统	全自动车钩	1	0	0	0	1	2
	半自动车钩	0	0	1	1	0	0
	半永久牵引杆	1	2	1	1	2	1
	贯通道	0.5	1	1	1	1	0.5
转向架	动车转向架	0	2	2	2	2	0
	拖车转向架	2	0	0	0	0	2
牵引辅助系统	受流装置	0	1	0	0	1	0
	牵引电机	0	2	2	2	2	0
	牵引逆变器	0	1	1	1	1	0
	制动电阻	0	1	1	1	1	0
	辅助逆变器	1	0	1	1	0	1
蓄电池	1	0	0	0	0	1	
列车控制系统	司机控制器	1	0	0	0	0	1
	网络控制单元	1	0	0	0	0	1
制动系统	制动控制单元	2	2	2	2	2	2
	风源模块	1	0	0	0	0	1
空调系统	空调机组	2	2	2	2	2	2
车载通信系统	控制单元	2	1	1	1	1	2
	广播系统	1	1	1	1	1	1
	乘客信息系统	1	1	1	1	1	1
信号系统	列车自动控制系统	1	0	0	0	0	1
	信标	1	0	0	0	0	1

APM 的列车控制和管理系统 (TCMS) 由列车总线 (WTB) 和多功能车辆总线 (MVB) 组成。其

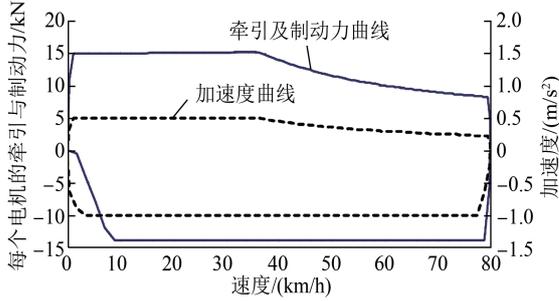


图 3 APM 6 节编组列车故障模式牵引仿真

中;WTB 为双通道多点串行数据总线,提供列车级车辆间的通信;MVB 为多点串行数据总线,用于连接每辆车上的设备。取 2 节编组来说明 APM 列车的网络系统架构,如图 4 所示。

APM 系统的每辆车同时配置了一套列车自动控制系统 (VATC)。组成多编组列车后,只有一辆车的 VATC 为主控,其余车辆的 VATC 为热备。灵活编组对 TCMS 和 VATC 的系统架构无影响,由 TCMS 进行组网,TCMS 随 VATC 进行主从切换。APM 2 节车厢间信号系统互相连接的构架如图 5 所示,APM 6 节编组列车车组网如图 6 所示。

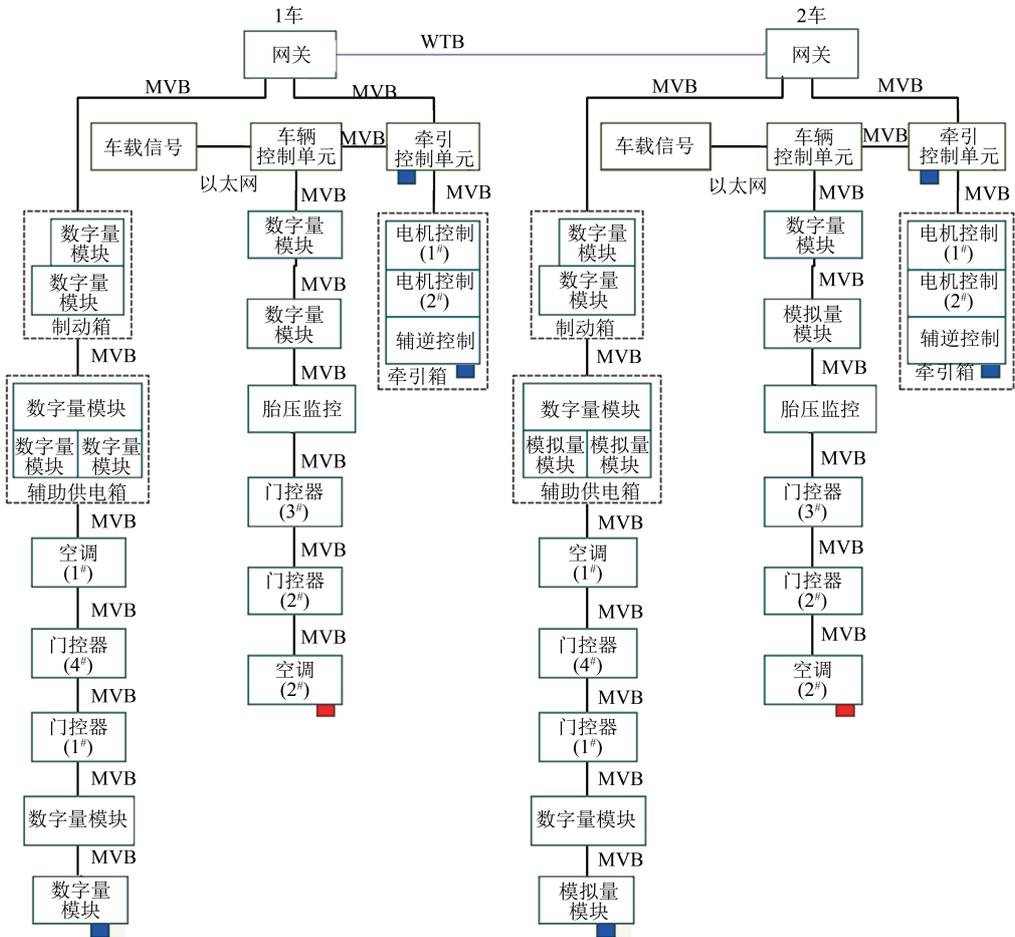


图 4 APM 列车的网络系统架构

### 1.5 灵活编组对系统仿真及建设的需求

APM 项目在系统设计时,列车必须以最大编组数下的性能和参数作为系统仿真及系统建设的输入。表 3 以深圳机场 APM 项目(最大编组数为 4 节)为例,描述了 APM 车辆在系统仿真及建设的主要需求。

### 2 车辆扩编、减编流程

APM 车辆可以实现任意数量的车辆在任意方向上的联挂编组。如果这些车辆在线路上保持同一方向,后车的一位端联挂前车的二位端,则称之为不换端联挂;如果车辆在线路上不是同一方向,后车的二位端联挂前车的二位端,则称之为换端联

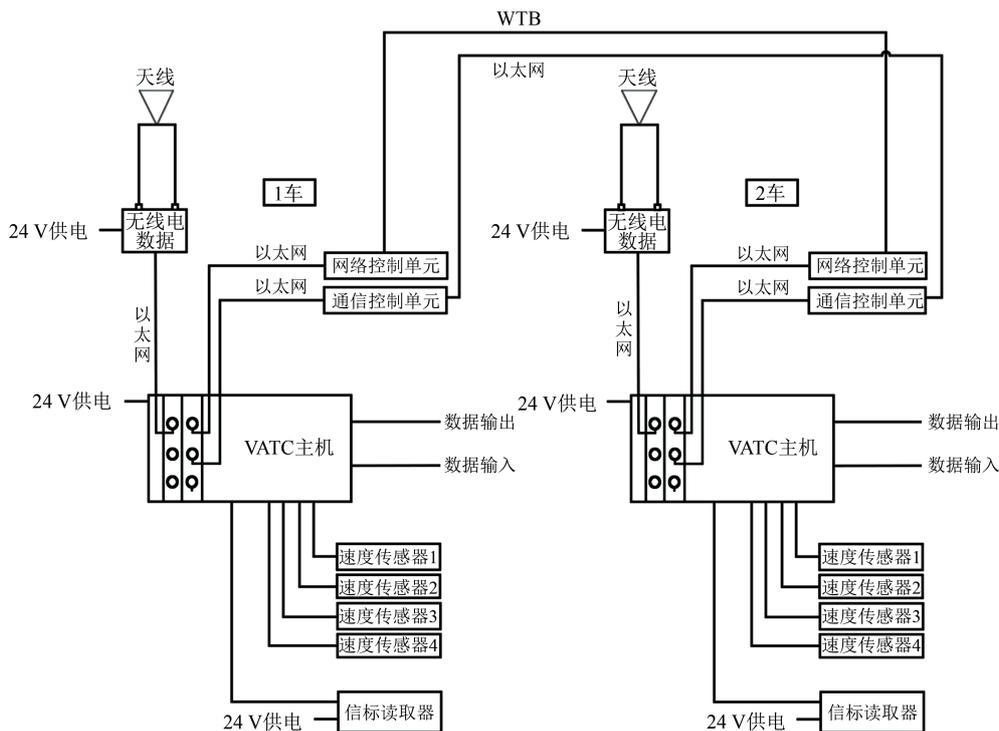


图5 APM 2节车辆间信号系统连接架构

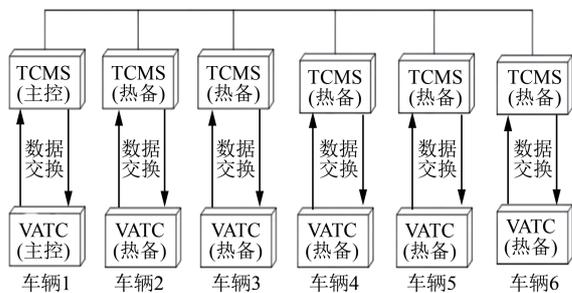


图6 APM 6节编组的列车组网

表3 APM 项目在系统仿真和建设上的需求

项点	主要需求
车辆与轨旁接口	以4节编组列车规格提供车辆与站台门、车辆与轨道、车辆与车辆段设备的接口
系统仿真	提供单车的牵引仿真数据及系统仿真参数；系统仿真需要按照最大列车编组(4节)的容量进行设计
列车碰撞	以4节编组列车提供列车的碰撞计算报告，用于车档的选型及紧急制动距离的计算

挂。换端联挂一般在有不同方向的发车及回库线路情况下使用。

APM 车辆的快速扩编、减编工作应在车辆段中设置有信号系统的安全轨道上进行,只需配置2名司机,即可在20 min内完成扩编或减编的操作。以2个单节车联挂为例,具体的操作步骤如下:

1) 行驶至联挂区域。将联挂车和被联挂车分

别在全自动模式下运行至信号系统设置的人工驾驶转换区域;将驾驶模式切换为全手动驾驶后,再分别由司机通过手动驾驶运行至信号系统设置的人工驾驶安全轨道区域中。

2) 施加制动。被联挂车辆的司机操作紧急制动按钮,保证被联挂车辆处于紧急制动施加状态。

3) 2车联挂。联挂车辆的司机手动驾驶车辆,以联挂模式向被联挂车移动。在确认全动车钩联挂到位指示灯显示已联挂成功后,由被联挂车辆的司机进行复位操作,复位被联挂车辆的紧急制动,完成列车的联挂。

4) 联挂完成。位于列车前进端的司机操作列车线复位按钮,驾驶联挂后的2节编组列车返回至人工驾驶转换区域,再将列车切换至全自动模式。

5) 恢复运行。司机确认列车安全并离开列车后,控制中心即可控制列车进行回库或者上线运行等操作。

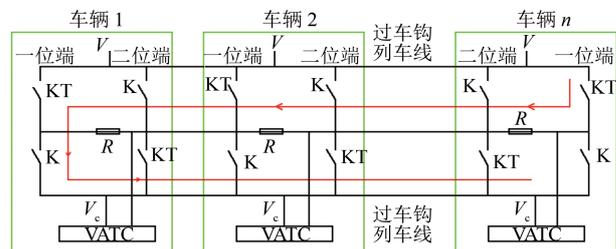
### 3 车辆编组信息检测电路设计

APM 车辆扩编或减编并完成列车线复位后,VATC 需要知道列车的长度,确定虚拟占用列车的编组数。

固定编组车辆的列车长度固定,只需要知道列

车是否完整即可,一般只需进行列车完整性检测;而对于一列灵活编组的 APM 列车,则需要改进固定编组列车长度的检测电路,实现对列车长度的检测,从而保证轨旁 ATP(列车自动防护)虚拟占用的准确性。

如图 7 所示, VATC 接收到的是电压信号。APM 列车设计了核心的列车长度检测方案,每辆车的端部电路通过全自动车钩自动联挂,联挂的车辆数量不同,串联到电路中的电阻  $R$  则不同, VATC 检测到的电压值也不同,从而实现了通过电压值来确定联挂列车的编组数量。



注:  $V_c$ —末端电压值;  $V$ —继电器供电电压;  $R$ —电阻;  
K、KT—2种不同种类的继电器

图 7 APM 列车长度检测电路原理图

图 7 中,车辆一位端和二位端均配置了继电器面板,面板上的继电器分别命名为 KT 和 K。全自动车钩联挂的状态信号发送至相互联挂端的继电器面板,控制继电器 K 和 KT 自动断开;手动操作列车线复位按钮,控制列车两端非联挂端的继电器 K 和 KT 闭合,即可实现整个检测电路回路。

为保证检测电压值的准确性, VATC 设计为悬浮接地,需要测量末端电压值  $V_c$ ,并作为其参考

(上接第 28 页)

## 6 结语

通过对机场定位、总体布局、交通规划等方面因素的研究分析,成都天府国际机场建设 APM 系统具有必要性。按客流预测和相应的车辆编组方案,推荐“C 形”线路方案来串联 4 个航站楼。

## 参考文献

- [1] 四川在线.成都天府国际机场正式开工 拟 2020 年投用[EB/OL].(2016-05-27)[2019-05-11].<http://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/2016/5/27/10382173.shtml>.
- [2] 国家发展改革委员会.国家发展改革委员会关于成都新机场工程可行性研究报告的批复发改基础[2016]848号[EB/

电压。

如图 7 所示,在车辆联挂侧通过全自动车钩联挂信号实现联挂侧的继电器 K 和 KT 断开,并且在列车中车辆 1 的一位端 K 闭合、列车车辆  $n$  的一位端 KT 闭合,即可实现参考电压  $V_c$  的检测。此时编组数量判断依据为  $(V - V_c)/R$ 。通过该 APM 列车的长度检测电路, VATC 可以准确判断出列车的编组数,从而在确定列车虚拟占用时,完全确定其列车长度。

## 4 结语

APM 车辆拥有独特的灵活编组设计理念。在快速扩编或减编后,通过列车长度检测电路和全自动车钩联挂状态,实现了灵活编组 APM 列车的长度检测,用以确认轨旁 ATP 虚拟占用。这种检测方法在车辆换端联挂和不换端联挂方式下均可适用。

通过快速的扩编、减编,以及列车长度的自动检测,大大提高了调整列车编组的工作效率,减少操作失误,保证了 APM 系统的安全稳定性。

## 参考文献

- [1] 杨帅,赵鹏,康洪军,等.高速铁路可变编组动车组适用性分析[J].铁道运输与经济,2015(9):64.
- [2] 程雯.关于城市轨道交通列车编组形式的探讨[J].都市快轨交通,2006(4):29.
- [3] 党武娟,李杰,罗小强.城市轨道交通列车编组方案优化浅析[J].交通科技,2013(2):105.

(收稿日期:2019-05-28)

OL).(2016-04-18)[2019-05-11].[http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201604/t20160425\\_799031.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201604/t20160425_799031.html).

- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家发展和改革委员会.民航局机场司关于征求《民用机场总体规划规范(征求意见稿)》意见的通知[EB/OL].(2016-08-17)[2019-05-11].[http://www.caac.gov.cn/HDJL/YJZJ/201608/t20160817\\_39463.html](http://www.caac.gov.cn/HDJL/YJZJ/201608/t20160817_39463.html).
- [4] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局,中华人民共和国国家标准化管理委员会.自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范:GB 16899—2011[S].北京:中国标准出版社,2011:14.
- [5] 李文沛,刘武君.机场旅客捷运系统规划[M].上海:上海科学技术出版社,2015.

(收稿日期:2019-05-28)