

# 西安咸阳国际机场旅客捷运系统制式比选

王家乐

(中铁第一勘察设计院集团有限公司,710043,西安//高级工程师)

**摘 要** 在机场旅客捷运系统项目前期决策阶段,制式的选择是面临的重要问题之一。通过对国内外已建或拟建机场捷运系统制式特征的梳理和分析,剖析了捷运系统的客流特点及运营模式,并从客流适应性、运营适用性、环境友好性、使用舒适性、国产化率及经济性等方面对胶轮导轨自动旅客捷运系统和钢轮钢轮 B 型车等主流制式进行了对比分析。提出了“以运营和客流需求为导向”的制式选取原则,指出了 APM 的优势所在,为类似项目的技术决策提供参考。

**关键词** 西安咸阳国际机场;旅客捷运系统;制式选择

**中图分类号** U239.8

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.01.025

## Selection of Passenger Rapid Transit Systems for Xianyang International Airport in Xi'an City

WANG Jiale

**Abstract** In the early project decision-making stage of airport passenger rapid transit system, the railway system selection is an important problem. Through sorting the characteristics of airport passenger rapid transit systems built or proposed all around the world, the features of passenger flow and passenger rapid transit operation modes are analyzed, the main systems, such as the B-type steel wheel car adopted in the automatic rubber wheel guideway system, are compared from aspects of passenger flow adaptability, operational applicability, environmental friendliness, ridding comfort, localization rate and economic efficiency. The selection principle based on operation and passenger flow demand is proposed, the advantages of APM (airport passenger mover) are pointed out, providing a reference for the technical decision of similar projects.

**Key words** Xi'an Xianyang International Airport; passenger rapid transit system; system selection

**Author's address** China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

机场旅客捷运系统是机场与轨道交通融合的产物,兼具机场和轨道交通的属性。根据国内外发展经验,机场年吞吐量达到 1 000 万人次以上即产

生对旅客捷运系统的需求<sup>[1]</sup>。截至 2017 年,我国共有 32 座机场年吞吐量达到 1 000 万人次以上<sup>[2]</sup>,还有 8~10 座机场即将达到千万级。目前,国内投入运营的机场旅客捷运系统仅有北京首都机场、香港国际机场、台北桃园机场。相关项目的决策、建设及运营经验相对匮乏。规划及在建的十多个机场捷运系统均面临制式选择的问题。本文以西安咸阳国际机场捷运系统为例,对全地下机场旅客捷运系统的制式选择问题进行深入剖析,以期对相关规划与建设提供借鉴。

西安咸阳国际机场捷运系统为联系 T5 航站楼同 2 座卫星厅的空侧客运通道,全长 2.2 km,均为地下线,设 3 座车站、1 座全地下车辆段(见图 1)。

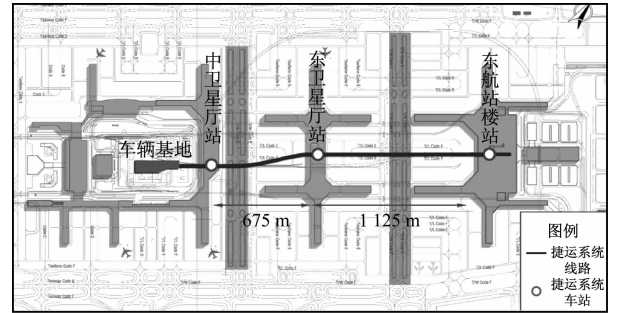


图 1 西安咸阳国际机场捷运系统示意图

## 1 国内外机场旅客捷运系统制式概况

目前世界上已投入使用的机场捷运系统有 40 多条,所采用制式主要有胶轮、缆车、单轨及钢轮钢轨等<sup>[1]</sup>。其中,胶轮系统在市场上占主导地位。已运营的机场捷运系统制式占比见表 1。

表 1 国内外已运营机场捷运系统的各类制式占比

制式	所占比例/%
胶轮	69
缆车	19
单轨	6
钢轮钢轨	4
其他	2

国内在建及规划的机场捷运系统中,上海浦东机场采用钢轮钢轨 A 型车,上海虹桥机场、重庆江北机场、成都天府机场、武汉天河机场等则采用胶轮导轨的自动旅客捷运系统,昆明长水机场、沈阳桃仙机场、郑州新郑机场及西安咸阳机场等仍处于研究论证过程中。国内外机场捷运系统制式特征明显。(本文中胶轮导轨的自动旅客捷运系统简为 APM)

1.1 国外以 APM 为主,其他制式为辅

APM 编组灵活、技术成熟、运维简单,占据了机场捷运系统 70% 左右的市场。其原因主要在于精准契合了轨道交通与机场客流的特点,将 2 套系统有机融合,相互促进,有效解决了机场客流疏散问题。

1.2 国内机场钢轮钢轨及 APM 兼有

国内机场捷运系统目前大多处于规划和论证

阶段。钢轮钢轨体系的成熟可靠与 APM 的小、快、灵技术优势各有千秋。2 种体系都有一定市场。

1.3 制式的选取偏市场而轻需求

国际上,APM 在机场捷运系统中应用较为广泛,对后续机场的制式选择具有明显的示范效应。

在国内,钢轮钢轨应用相对较多。这种趋势同样也影响了部分机场的规划理念。

由于捷运系统在机场总体规划与建设中占比较小,决策者对捷运系统制式的选定容易受市场干扰,进而偏离了本身的客流需求。

2 主流系统制式的技术特征

钢轮钢轨、磁浮及胶轮等 3 个主流制式的基本特征见表 2。

磁浮制式的列车运行速度高(中低速磁浮列车最高运行速度为 100 ~ 160 km/h,高速磁浮不小于

表 2 机场捷运系统主流制式基本特征汇总表<sup>[3,4]</sup>

制式	线路类型	车型	最高速度/ (km/h)	高峰小时运送能力/ (万人次/h)	特征	应用城市
钢轮 钢轨	地铁	A、B、L <sub>b</sub>	80 ~ 120	2.5 ~ 7.0	运量大,以地下为主,适用于客流需求大的城市中心骨干线路	北京、上海、广州、深圳等
	轻轨	C、Lc	80 ~ 120	1.0 ~ 3.0	运量适中,以地面及高架为主,适用于大中型城市骨干线路	大连、上海、长春
	现代有轨 电车	专有车型	70	0.6 ~ 1.5	运量小,以地面为主,主要作为中小城市公交骨干线路或大中城市轨道交通的衔接和补充	苏州、沈阳、天津、北京
	市域铁路	A、B 型车改良 或 CRH 改型	120 ~ 160	1.0 ~ 3.0	运量大,以地面及高架为主,适用于市域各大组团之间的中长距离客运交通	温州、台州
磁浮	中低速 磁浮	专有车型	100 ~ 160	0.8 ~ 1.5	中低运量,以地面及高架为主,适用于市域各大客流集散点或城市群之间的直达客运交通	北京、长沙
胶轮	单轨	专有车型	80	0.8 ~ 2.3	中运量,以高架为主,适用于城市交通干线、客流接驳线路、旅游观光线路等	重庆、银川
	APM	专有车型	80	0.5 ~ 1.8	中低运量,敷设方式灵活,主要适用于客流相对集中的点对点运营线路	北京、广州、上海

200 km/h)、能耗大、技术复杂、运维成本高,适用于长距离、大站距的市域线路。而机场捷运系统线路普遍较短,难以发挥磁浮制式速度高的优势,故一般不予推荐。

钢轮钢轨制式中,地铁 A、B 型车应用广泛、技术成熟、运能大、性价比高,可作为备选制式。

胶轮制式中,跨坐式单轨及悬挂式空轨等单轨线路列车均依托轨道梁运行,更适合于高架线;APM 系统隧道断面与传统 A、B 型车差异不大,且具有小、快、灵的特点,也可作为备选制式。

结合机场捷运系统的特点及各种典型制式的适应性,本文重点以 B 型车为代表的钢轮钢轨制式

和以庞巴迪为代表的 APM 制式进行深入比选。

### 3 主要比选内容及指标

#### 3.1 车辆编组

##### 3.1.1 站立标准

一般的城市轨道交通以通勤为主,故舒适度要求相对较低,其站立标准一般选取 5~6 人/m<sup>2[5]</sup>。

IATA(国际航空运输协会)《机场航站楼参考手册》建议枢纽型机场服务水平应达到 B~C 级,最低人均站立面积标准为 1 人/m<sup>2[6]</sup>;MH/T 5104—2006《民用机场服务质量》规定拥挤概率及程度最高的边防检查区域最低人均站立面积标准为 1.67 人/m<sup>2[7]</sup>。因此,国内外机场站立标准基本控制在 2 人/m<sup>2</sup> 以下。

考虑到机场部分客流携带大件行李出行的需求,为保证更高的乘坐舒适度,捷运系统站立标准应适当高于一般城市轨道交通。目前,北京首都机场及深圳宝安机场的捷运系统均采用 3 人/m<sup>2</sup> 站立标准。

综上所述,西安咸阳国际机场捷运系统站立标准可采用 3 人/m<sup>2</sup>。

##### 3.1.2 编组方案

西安咸阳国际机场捷运系统远期高峰小时最大断面客流为 8 495 人次/h,以 3 人/m<sup>2</sup> 的站立标准核算,APM 4 辆编组、B 型车 3 辆编组均可满足客流需求。相关的运输能力如表 3 所示。

表 3 APM 与 B 型车客流适应性分析表

制式	编组数/ 辆	定员/人	开行数/ 对	运输能力/ (人次/h)
APM	3	243	30	7 290
	4	324	27	8 748
	5	405	22	8 910
钢轮钢轨 B 型车	2	282	30	8 460
	3	443	20	8 860
	4	562	15	9 045

#### 3.2 运营适应性

##### 3.2.1 对机场客流独特需求的响应

机场捷运系统服务于机场客流,其客流特征与城市轨道交通差异较大,具体如下:

(1) 全天候。由于全球航空网络运行的需要,以及进出港航班的延误,机场全天 24 h 均有到发

旅客。

(2) 随机性。影响航班准点率的因素比较复杂。天气状况、空中交通管制、机械故障及旅客等原因均会导致航班延误,故其客流具有一定的随机性。

(3) 不均衡性。机场客流不均衡性较为明显,其客流高峰值与低谷值交替出现<sup>[8]</sup>。

(4) 集中性。受多种偶然因素的叠加影响,机场经常会出现多个航班同时到达的情况。客流常短时间高度聚集,体现出较高的集中性。

##### 3.2.2 捷运系统运营特点

机场的运营要求及客流特征决定了捷运系统有其独有的运营特点。

(1) 全天性。捷运系统应具备满足全天候运行的保障能力。

(2) 季节性。捷运系统应根据全年不同季节航班排布情况,灵活调整运营组织方案,以充分适应高峰时段及客流量的变化。

(3) 可靠性。捷运系统虽然自成体系,但作为机场业务链上不可缺少的一环,若其发生故障必然会影响到旅客的出行和整个机场的正常运转,可靠性要求较高。

(4) 舒适性。机场的服务水平,主要体现在“时间”与“空间”两方面。捷运系统应满足不同客流流程的时间目标要求,同时提高舒适度,避免乘客产生“挤地铁”的不良体验。

(5) 非营利性。捷运系统为机场内部公共服务设施,其经济效益主要体现在对机场服务品质的提升上。

#### 3.3 投资对比

从 APM 4 辆编组与 B 型车 3 辆编组控制规模来看,B 型车的土建投资明显高于 APM,而 APM 的车辆购置费则高于 B 型车(见表 4)。综合对比,西安咸阳国际机场捷运项目中,采用 B 型车制式的投资较 APM 制式高 1.58 亿元左右。

#### 3.4 评价指标对比分析

在兼顾机场运营需求与轨道交通特性的基础上,遵循“客观性和可比性并重”的原则,提炼出制式评价的核心指标体系,并进行比选(见表 5)。

从表 5 可以看出,APM 在运营可靠性与灵活性、环境友好性、乘坐舒适性、便捷性、运营维护等方面的优势较为明显。

表 4 采用 APM 制式与 B 型车制式投资对比分析表

万元

项目	采用 APM 制式投资	采用 B 型车制式投资	投资差异 (B 型车制式投资 - APM 制式投资)	原因分析
车站	16 203	23 782	+ 7 579	站台长度增加导致建筑面积增加
区间	22 548	24 017	+ 1 469	站后折返线加长
轨道	2 825	5 312	+ 2 487	轨道系统差异
车辆段	24 332	37 825	+ 13 493	车辆长度、检修工艺差异导致规模增加
环控系统	3 389	3 692	+ 303	车站面积增大引起设备容量增加
车辆购置费	20 000	10 500	- 9 500	车辆单价较低
合计	89 297	105 128	+ 15 831	

表 5 评价指标及比选汇总表

一级指标	二级指标	B 型车	APM <sup>[9]</sup>	评价
客流适应性	编组与运能	2~6 辆编组, 高峰小时运能达 0.8~2.5 万人次, 远大于机场客流需求。	1~6 辆编组, 高峰小时运能达 0.2~1.5 万人次, 与机场客流需求较为匹配。	从满足运能需求和编组灵活角度, B 型车易造成运能虚糜, 或者同比下降低服务标准(拉大行车间隔)。
	可靠性与先进性	与“人”相关的故障时有发生, 但可靠性仍较高。	先进的无人驾驶系统, 故障率低, 可靠性高。	APM 作为无人驾驶的先驱, 可靠性、先进性优于 B 型车。
运营适用性	灵活性	轴重大、编组不灵活, 无法灵活拆解, 对机场客流适应性差	轴重较轻、编组灵活, 可根据机场不同季节、时段灵活编组	APM 编组灵活性优于 B 型车
环境友好性	振动	钢轮, 振动大	胶轮, 振动轻微	APM 振动低于 B 型车
	粉尘	金属粉尘	橡胶粉尘	均可控制在对人体无害范围
使用舒适性	车门宽度	1.30~1.40 m	1.98 m	APM 车门更宽, 上下车更便捷
	车内噪声	牵引、轮轨摩擦噪声较大, 约 80 dB	车体轻, 且胶轮本身噪声小, 约 65 dB	APM 车内较 B 型车更安静
	晃动	有一定晃动	晃动相对明显	B 型车晃动较小, 但捷运系统速度要求低, APM 晃动感相应降低。
国产化程度	国产化率	80% 以上	浦镇厂引进技术生产的车辆已用于上海浦江线	随着市场应用的不断普及, APM 国产化率将会进一步提升
	工程造价	6 亿~8 亿元/km	5 亿~8 亿元/km	系统造价相当, 土建造价 B 型车高
经济性	车站定员	有人值守的无人驾驶, 50 人/km	全自动无人驾驶, 37 人/km	人工成本按 8 万元/(人·年) 计算, B 型车人工成本增加 104 万元/(km·年)。
	牵引能耗	轴重大, 编组不灵活, 能耗较高	车体轻, 编组灵活, 能耗较低	B 型车牵引能耗及车站能耗分别较 APM 高 15% 及 8%~15%。
	车辆检修	修程较为复杂, 轨道养护维修工作量较大	修程简单, 作业量较小, 混凝土运行道养护量小。	APM 车辆检修、养护工作量低于 B 型车。

4 结语

对于机场捷运系统而言, 各种制式均有其适用环境, 应考虑需求、技术、经济及管理等多方面因素, 不能一概而论<sup>[10]</sup>。本文结合西安咸阳国际机场旅客捷运系统的研究实例, 在系统总结机场捷运系

统制式现状及存在问题的基础上, 分析了典型主流制式的特点, 提出地下捷运系统应以 APM 与 B 型车作为典型制式, 构建了制式比较评价体系, 并进行了对比分析。总结出如下几点体会。

(1) 制式选取应坚持以运营及客流需求为导向。决策者在钢轮钢轨和 APM 之间摇摆不定的一

个重要原因是过于看重市场导向,忽视了运营及客流需求。钢轮钢轨固然成熟,而 APM 也是传统制式,且更符合机场运营特点和客流需求。

(2) APM 在运营灵活性及可靠性等方面优势明显。APM 车辆以其灵活的编组、成熟的无人驾驶技术、良好的环保性及舒适性,较 B 型车可更充分地适应机场客流特征及运营组织需求,提供更高的系统安全性及可靠性,保证捷运系统全天 24 h 不间断运营。

(3) 系统规模及土建投资需结合具体项目分析。不同的机场、不同的捷运系统规划,其客流来源及流线各有不同,其系统设计规模也有所差异。从西安咸阳国际机场案例来看,高峰小时单向客流量在 0.9 万人次的量级以内,故 APM 较 B 型车综合优势明显。面对更高客流量级的需求,一定程度上有利于 A、B 型车发挥大运量的特点,但其运营灵活性方面的不足仍需做进一步比选研究。

## 参考文献

[1] 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.

- [2] 中国民用航空局. 2017 年民航行业发展统计公报[R]. 北京:中国民用航空局,2018.
- [3] 中华人民共和国建设部. 城市公共交通分类标准: CJJ/T 114—2007[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 中华人民共和国建设部. 城市轨道交通工程项目建设标准: JB 104—2008[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [6] AITA. Airport Development Reference Manual 10th Edition [M]. Geneva: AITA,2014.
- [7] 中国民航总局. 民用机场服务质量: MH/T 5104—2006[S]. 北京:中国民用航空总局,2006:9.
- [8] 朱忠隆, BAM BERG W, 林晨, 等. 机场自动旅客输送系统规划技术及其应用[J]. 城市轨道交通研究, 2007(9):38.
- [9] 姬永红. 机场自动旅客输送系统技术发展与应用展望[J]. 城市轨道交通研究, 2011(3):10.
- [10] 包亚敏, 杜磊. 机场捷运系统制式比选研究[J]. 科技视界, 2017(7):91.

(收稿日期:2018-06-25)

(上接第 114 页)

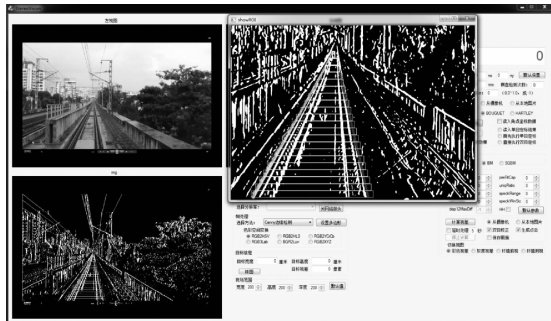


图 9 真实线路的障碍物识别测试

买地铁 1 号线上,共测试 156 次,有效识别了 153 次,误报 3 次,识别正确率达 98%。由测试结果可见,测试系统的障碍物识别率较高,满足了障碍物识别的基本要求。

## 6 结论

本文详细介绍了一种多检测技术融合平台的设计方案及核心架构。通过建立统一平台、数据融合、优化策略和学习算法,最终提高了障碍物识别的正确率。多技术融合的障碍物检测技术为未来列车插上智慧的“眼睛”和“耳朵”,为全自动无人驾驶系统安全行车提供了保障。

## 参考文献

- [1] 黄涛,吕红强,王维. 基于多技术融合的地铁列车障碍物检测系统设计[J]. 制造业自动化, 2016, (8):59.
- [2] 徐伟,陈宁宁. 一种全自动无人值守列车(UTO)障碍物检测方法[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(4):56.

(收稿日期:2018-09-21)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com