

# 成都天府国际机场自动旅客运输系统线路方案研究

李霖

(成都天府国际机场建设指挥部,641413,成都//工程师)

**摘要** 成都天府国际机场是我国第四个国家级国际航空枢纽,规划了6条跑道、4个航站楼。该机场依托高铁、高架道路、地铁、自动旅客运输(APM)系统、个人快速运输(PRT)等构建综合交通体系。针对成都天府国际机场的功能定位和总体规划布局,论证了该机场建设APM系统的必要性。通过对机场内部客流进行分析预测,确定APM系统的建设规模。结合航站楼布局对2个选线方案进行对比,最后推荐采用“C形”方案串联4个航站楼。给出了近期工程建设的总体方案。

**关键词** 自动旅客运输;客流预测;线路方案比较;成都天府国际机场

**中图分类号** U239.8;U212.32

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.10.007

## Line Scheme of Chengdu Tianfu International Airport APM System

LI Lin

**Abstract** Chengdu Tianfu International Airport is the fourth state-level international aviation hub in China, it forms a comprehensive transportation system with 6 runways and 4 terminals based on high-speed railway, elevated road, subway, APM (automated people mover) and PRT (personal rapid transit). According to the functional location and overall planning layout of the airport, the necessity of APM construction is demonstrated. Through analyzing and forecasting the passenger flow inside the airport, the construction scale of APM is determined. Then, combined with the terminal layout, two line selection schemes are compared, and the “C-shaped” scheme is finally recommended, it will connect all the four terminals, thus the overall scheme of recent engineering construction is given.

**Key words** APM; passenger flow forecast; comparison of line schemes; Chengdu Tianfu International Airport

**Author's address** Chengdu Tianfu International Airport Construction Headquarters, 641413, Chengdu, China

目前,成都市双流机场承担的客货吞吐量已居全国第四,仅次于北京、上海、广州。但是由于受规

模制约,双流机场的运能已达到饱和,长期处于高负荷运转状态,亟需扩建新机场。另一方面,成都市建设新机场也是国家战略发展的需要。新机场将成为与北京、上海、广州3个城市遥相呼应、贯通南北、连接东西的中国第四个国家级国际航空枢纽<sup>[1]</sup>。

2016年,国家发改委批复同意建设成都天府国际机场的可行性研究报告,按满足2025年旅客吞吐量4 000万人次、货邮吞吐量70万t、飞机起降量32万架次的目标设计,总投资718.64亿元<sup>[2]</sup>。远期规划拟建4座航站楼、6条跑道,可满足9 000万人次的年旅客吞吐量。

## 1 天府国际机场的总体布局与交通规划

成都天府国际机场总体采用分散式航站楼布局,4座单元式航站楼如2只太阳神鸟,以2个独立的候机楼形式手拉手连接,如图1所示。



图1 成都天府国际机场设计鸟瞰图

成都天府国际机场的对外交通规划中将构建2个交通圈:一是以高速铁路、城际铁路、高速公路为依托的连接川南、川东、川北、川西等区域,半径约200 km的城际交通圈;二是以成都市地铁18号线、高速公路、城市快速路为依托,连接主城区、新城区及双流机场的100 km辐射范围的城市区域交通圈。

对于机场内交通,规划建设以航站楼为中心、服务空侧、陆侧客流的多层次综合交通系统,包括机场线、出租车、社会车辆、摆渡车等高架为主的道

路交通系统,以及串联 4 个航站楼的自动旅客运输 (APM) 系统、航站楼至停车场的个人快速运输 (PRT) 系统。天府国际机场的总体布局如图 2 所示。

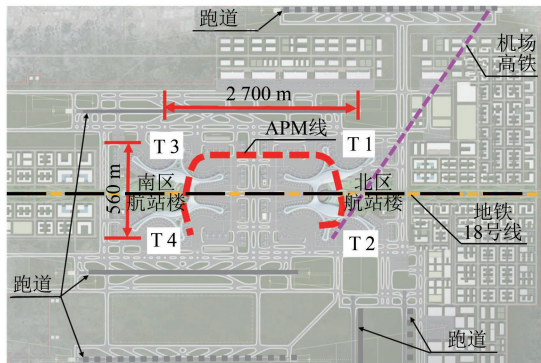


图 2 成都天府国际机场航站楼周边交通总体布局

## 2 建设天府国际机场 APM 线的必要性

机场的交通需求一般分 2 个层次:城市中心与机场交通中心之间的通达需求,以及机场内部交通中心、航站楼、卫星厅、商业配套及停车场之间的交通接驳需求。本文主要研究机场内的交通接驳需求,其客流组成以中转旅客转机需求为主。

机场旅客一般均有携带行李,且商务客流较多,对交通服务的要求也较高。因此,在旅客流线设计上应尽量做到短而直接,尽量少转换楼层,减少旅客在航站楼内的步行距离,以提高换乘的舒适度和安全性。航站楼内最大步行距离宜为 300 m,超过 300 m 时应为旅客提供便利的机械辅助设施,而超过 750 m 时则宜规划摆渡车或 APM 系统<sup>[3]</sup>。

如图 2 所示,在成都天府国际机场项目中,对于北区(或南区)航站楼内部,即 T1 与 T2(或 T3 与 T4)之间的间距约 560 m,尚可通过适当的步行并辅以自动步道予以解决。而南区航站楼与北区航站楼的间距约 2 700 m,按自动步道名义速度最大为  $0.75 \text{ m/s}$ <sup>[4]</sup> 计算,走完全程至少需要 1 h。无论是从设备规模、乘客体验角度,还是通达时间的需求上分析,南区航站楼至北区航站楼间不适合设置如此长距离的自动步道。

航站楼间中转客流较高,预计远期高峰小时客流在 5 000 人左右。一般情况下,机场摆渡车的运能为 130 人/车,载客量较小。为满足高峰客流的运输需求,每小时需开行摆渡车约 40 趟,这将增加空侧交通的复杂程度。而且,旅客需要到航站楼外乘

车,步行距离增加。因此,无论是从运能水平、服务水平还是运输组织难度上来看,摆渡车并不具备完全解决空侧旅客交通的能力。

虽然成都地铁 18 号线连通了南北航站楼,但 18 号线的功能定位是贯通市区与机场之间的快线,主要解决市区通勤和市区至机场点到点的陆侧交通需求,不适合同时承担本项目南北航站楼间的空侧运输任务。

18 号线远期高峰断面为 6 万人次/h,采用 8 辆编组地铁,其能力与航站楼间的高峰小时客流 3 000~5 000 人次/h 的差距悬殊,即便是局部开行小交路,其经济匹配性仍然较差。此外,18 号线的平均站间距为 7.2 km,选用了最高速度 140 km/h、AC 25 kV 接触网供电的“改进”A 型车,若选择小编组地铁作为 18 号线的接驳线路,速度性能不能完全发挥,有“大牛拉小车”的缺陷。

APM 小巧灵活,其兴起即源于机场,并且是目前机场内部轨道交通系统的首选。在全球吞吐量较大的机场,如亚特兰大、达拉斯沃斯堡、华盛顿杜勒斯、法兰克福、新加坡、香港、北京等 32 个机场,均建设了 APM 系统<sup>[5]</sup>。

在本项目中,若采用 APM 系统,可以利用其适应最小 22 m 的平面曲线半径特点,较好地串联起 4 个航站楼;采用无人驾驶系统,可靠性高,满足昼夜不间断运行;采用灵活编组列车,可满足飞机晚点等情况下的突发客流运输要求,经常“临时性”地开行不同编组的列车,服务效果好。

综上,由于空陆侧客流组织复杂,地铁 18 号线技术标准与航站楼间运输服务的匹配度较差,机场对行车间隔服务水平要求高等因素,仅仅依靠自动步道、摆渡车、地铁 18 号线等并不能完全解决其运输需求,而 APM 系统与本项目的整体匹配较好,建设 APM 系统是必要且合适的。

## 3 天府国际机场 APM 线的建设规模

在本项目中,根据客流预测,远期 4 个航站楼之间的中转旅客高峰小时达到 3 000 人/h 以上,综合考虑陆侧客流和工作人员需求后,预计高峰小时客流在 5 000 人/h 左右。

在近期(2021 年)的规划与建设中,T1、T2 这 2 座航站楼已于 2016 年动工。航站楼 T1 承担部分国内和全部国际航班,预计占天府国际机场总旅客吞吐量的 45%;T2 承担部分国内航班,其旅客吞吐量

占天府国际机场旅客总吞吐量的 55%。天府国际机场近期 APM 系统客流预测见表 1。

表 1 天府国际机场 APM 线高峰小时客流预测(近期)					
总人数/人	中转比例/%	集中率	中转人数/人	乘坐 APM 系统的客流比例/%	乘坐 APM 人数/(人/h)
国际	20 (转国内)	1.2	518	80	414
	3 (转国际)	1.2	78	0	0
国内	10 (转国内)	1.2	554	20	111
	10 (转国际)	1.2	554	20	111
总计					636

根据表 1,采用 APM 系统进行中转的高峰小时客流预计达 636 人/h。据成都双流机场的运行经验,2015 年双流机场 T1、T2 航站楼所有工作人员人数约 2 万人。考虑到天府国际机场近期 T1、T2 航站楼的设计旅客吞吐量(4 000 万人次)与双流机场 2015 年实际吞吐量大致相当,则天府机场开通运营后所有工作人员总数也按 2 万人进行预估。考虑天府机场 T1、T2 航站楼间工作人员的相互沟通,选用 1%~2%的比例,即高峰小时有 200~400 人次/h 的工作人员使用空侧 APM 系统在 2 座航站楼之间进行通勤转运。由于采用单元式航站楼的运营模式,在运营的初近期,预计旅客走错航站楼的情况将时有发生。这部分旅客也可通过陆侧 APM 系统前往正确的航站楼。考虑以上几个要素,初近期 APM 线高峰小时实际使用人数预测约为 1 000~1 100 人次/h。2 节编组的 APM 列车以每小时开行 8 列的发车频次并按照 3 人/m<sup>2</sup>(即每节列车可 77 人)考虑,APM 线的额定载客量能够满足运输需求。

由于近期建设仅涵盖北部航站楼区域,根据天府国际机场总体设计,APM 系统位于北区航站楼及陆侧交通中心下方,且整条线路为地下线路,如在远期再进行建设,难度较大。因此,近期除了建设北部航站楼区域外,同步实施该区域部分 APM 系统的土建工程。

#### 4 天府国际机场 APM 线的选线规划

根据天府机场航站楼总体规划方案,对 APM 系统的线路总体方案进行了研究,提出了“H 形”方案和“C 形”方案。

#### 4.1 “H 形”方案

如图 3 所示,“H 形”方案在近期采用单线双向拉风箱方式联接 T1—T2 航站楼,2 个航站楼均在中庭花园(图 3 圆圈处)设站,均采用“侧式+岛式”的 3 站台模式,并预留远期线路扩展容量和土建接口;远期采用双线压缩环式线路连接 T1、T2、T3、T4 这 4 个单元式航站楼,4 个航站楼均在各自的中庭花园设一个车站,车站均为“侧式+岛式”的 3 站台模式,每个航站楼均有直达其它 3 个航站楼的 3 种车次,每个车站的 3 个站台分别与 3 种车次相匹配。

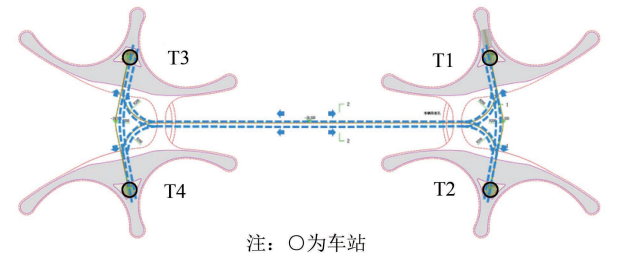


图 3 “H 形”线路规划方案

#### 4.2 “C 形”方案

如图 4 所示,“C 形”方案在近期采用单线双向拉风箱式线路联接 T1 与 T2 航站楼,T1、T2 均在中庭花园设站,T1 采用“侧式+岛式”站台,T2 采用岛式站台,并预留了远期线路扩展容量和土建接口;远期,采用双线缩环式线路连接 T1、T2、T3、T4(远期建设的 T3、T4 还未进行设计)这 4 个单元式航站楼,4 个航站楼均在中庭花园设一个车站。

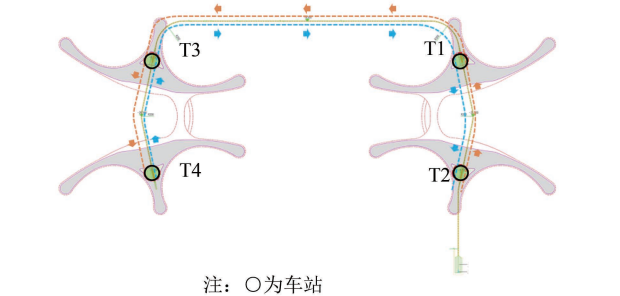


图 4 “C 形”线路规划方案

#### 4.3 方案比选

采用“H 形”方案的优点主要有 3 个:①采用压缩环式线路,可根据各单元式航站楼之间的中转量灵活调配车辆运营,故障备份可靠性高;②在中庭花园设站,站台可自然采光通风,提升了旅客舒适度;③T1、T2、T3、T4 任意 2 个单元航站楼之间均可直达。采用“H 形”方案的缺点有:①每个站点均需要设置 3 个站台,发 3 种车次,旅客选择过多,容易



选错站台和车次;②线路运营组织复杂,上线车辆的数量多,导致每个车次的发车间隔时间较长;③线路大部分埋深较深(−26.5 m),且与铁路、城市轨道交通线路在部分区域重叠,施工难度较大。

采用“C 形”方案的优点主要有:①采用“C 形”双线压缩环线路,运营组织简单,发车间隔时间较短,容量冗余性高,故障备份可靠性高;②在中庭花园设站,站台可自然采光通风,提升了旅客舒适度;③旅客选择简单,容错性高;④大部分线路埋深较浅(−8.5 m),不会与铁路、城市轨道交通线路产生交叉重叠,施工难度较小。采用“C 形”方案的缺点为正线线路相对较长,整体投资额较高。

通过以上 2 个方案的优缺点比较,秉承“以人为本,旅客第一”的设计原则,综合考虑与地铁 18 号线同步建设难度、运营组织难度、故障可靠性等因素,最终选择“C 形”方案作为 APM 的推荐方案。

### 5 天府机场 APM 线近期建设总体方案

本项目初近期工程共设 2 个地下车站,分别为 T1 站和 T2 站。T2 至 T1 区间为明挖双线矩形隧道,APM 隧道与机场行李隧道毗邻。土建工程实施范围同线路设计范围,长度约 2.2 km。轨道及机电设备系统实施起点为车辆段,终点为 T1 站站台北侧的车挡,约 0.8 km。APM 系统近期建设工程总体方案如图 5 所示。

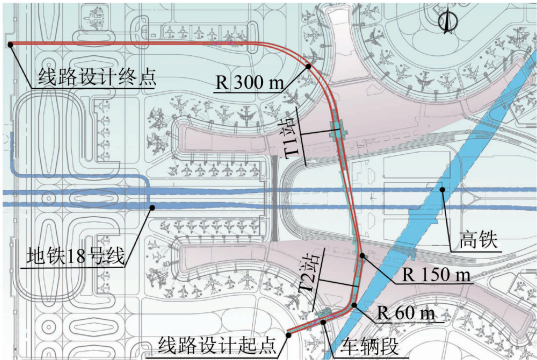


图 5 天府机场 APM 线近期建设总体方案

1) 线路平面:初、近期线路于西南方位的车辆段检修线为起点,顺接收发车线,然后以 R 60 m(左线)、R 75 m(右线)曲线向北向东转向,接入 T2 站,T2 站台范围内线路平面均为直线。出 T2 站后,线路向北依次经过 R 310 m(左线)、R 150 m(右线)和 R 1 400 m(左线)接入 T1 站,T1 站台范围内线路平面均为直线。

2) 线路纵断面:初、近期线路在车辆段、T2 站、T1 站内均为平坡,两站之间设节能坡,坡度约为 1.35‰和 2.19‰。

3) T2 站:为地下岛式车站,站台宽度 14.2 m,如图 6 所示。在近期,在车站中心位置处设置玻璃隔断,将站台一分为二,西侧为空侧站台,东侧为陆侧站台。在远期空侧乘客使用 APM 的需求明显高于陆侧需求的情况下,将玻璃隔断向东移一辆车的长度,将站台西侧的 3/4 部分作为空侧站台,东侧的 1/4 部分为陆侧站台。

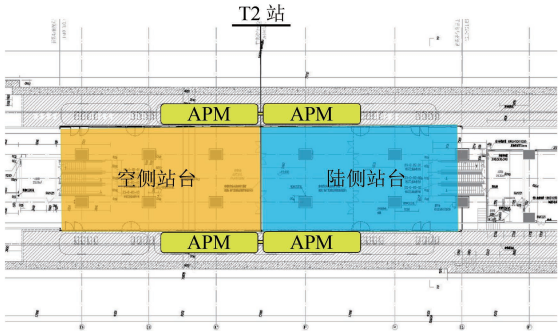


图 6 近期 T2 站站台平面分区示意图

4) T1 站:为“一岛两侧”地下车站(如图 7 所示),其中间岛式站台为空侧站台,站台宽度 14.6 m;两侧的侧式站台为陆侧站台,标准宽度约 9 ~ 10 m。

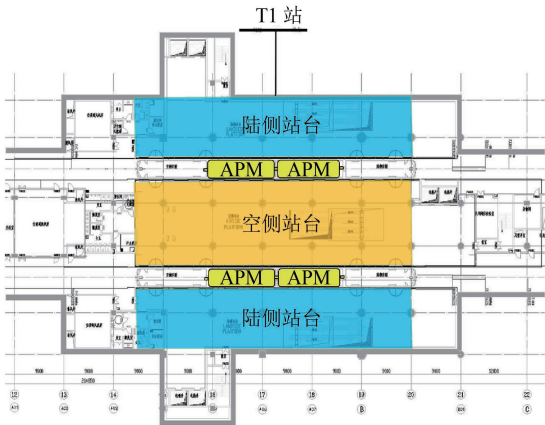


图 7 近期 T1 站站台平面分区示意图

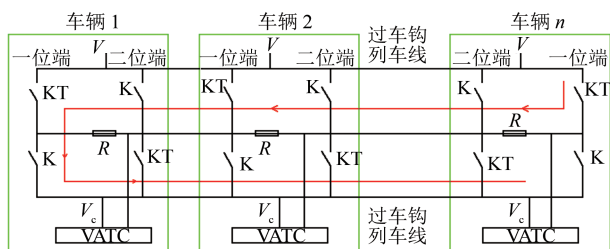
5) 车辆段:初、近期工程车辆段包括检修区、洗车区(兼收发车区)和辅助用房。其中:检修区和洗车区(兼收发车区)均利用正线线路末端设置,各设一个列位;辅助用房包括了车辆检修间及备品仓库等。

6) 控制中心及设备用房:设于车辆段辅助用房内。

(下转第 33 页)

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:  $V$ —末端电压值;  $V_c$ —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)