

轨道交通机场线运营组织模式适应性分析

李团社^{1,2,3}

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安; 2. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院), 710043, 西安; 3. 轨道交通工程信息化国家重点实验室(中铁一院), 710043, 西安//正高级工程师)

摘要 目的:相对于传统的交通出行工具,轨道交通与机场衔接具有较明显的优势,不少机场线开始从以城市轨道交通为主的单一模式向多层次轨道交通系统转变,因此需对机场线的运营组织模式进行适应性分析。方法:介绍了机场线的定义及分类;对机场线的运营组织研究进行了必要性分析;总结了机场专线、城市轨道交通延伸线和市域(郊)铁路的运营组织特点,并分别对三者进行了适应性分析;提出了机场线的规划建议。结果及结论:研究结果表明:机场专线适用于旅客吞吐量大于5 000万人次/年的大型机场;城市轨道交通延伸线适用于距离城市中心不宜过远的机场,且旅客吞吐量需大于1 000万人次/年;市域(郊)铁路适用于距离市中心较远的机场,且宜在市域(郊)铁路的运能较为富裕的情况下采用。机场线规划建议有:选择适宜的运营组织模式;加快空港交通枢纽的建立;结合机场线客流特点,加大快慢车运营组织模式的应用;加强行李托运功能方面的研究。

关键词 轨道交通;机场线;运营组织模式

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.015

Adaptability Analysis of Rail Transit Airport Line Operation Organization Mode

LI Tuanshe

Abstract Objective: Compared to conventional transportation means, rail transit has distinct advantages in connecting with airports. Many airport lines begin to shift from a single-mode system primarily based on URT (urban rail transit) to a multi-level rail transit system. Therefore, an adaptability analysis of airport line operation organization modes is necessary. Method: First, the definition and classification of airport line are introduced; then, necessity analysis of airport line operation organization research is carried out; operation organization characteristics of airport dedicated lines, URT extensions, and city (suburban) railways are summarized, and adaptability analysis is conducted respectively; suggestions for airport line planning are proposed. Result & Conclusion: The research results indicate that: airport dedicated lines are suitable for large

airports with annual passenger throughput of over 50 million; URT extensions are suitable for airports located not too far from the city center, with annual passenger throughput exceeding 10 million; city (suburban) railways are suitable for airports located at a considerable distance from the city center, particularly in appropriate circumstances of sufficient transportation capacity. Suggestions for airport line planning include: selecting appropriate operation organization modes; accelerating the establishment of airport transportation hubs; combining the characteristics of airport line passenger flow to increase the application of express/local train operation modes; increasing research on luggage handling capabilities.

Key words rail transit; airport line; operation organization mode

Author's address China Railway First Survey and Design Institute, 710043, Xi'an, China

航空业的发展速度不断加快,旅客年吞吐量持续增高,此种发展趋势对于机场的陆侧交通提出了更高的要求。由于机场距城市中心普遍较远,乘客到达机场可乘坐大巴、轨道交通、出租车及私家车等多种交通工具。在各种连接机场的陆侧交通方式中,轨道交通由于其便捷、准时、舒适及运能高等优点被大众所接受,因此许多大型机场均建有轨道交通机场线(以下简称“机场线”)。

对于机场线的研究主要集中于两方面:①借鉴国外先进经验,为我国机场线的规划、设计及运营等方面提供理论借鉴;②对于机场线的建设工程、站点布局及客流特征等特点进行分析。文献[1]分析了机场线的规划适应性,但其对于机场线运营模式的适应性分析仅停留在专线及复合线层面,未深入分析延伸线、市域(郊)铁路等方面的规划适应性。随着轨道交通的不断发展,对于快慢车运营模式的应用也在不断加强,相对于传统的交通出行工具,轨道交通与机场衔接具有较明显的优势。随着

时代的发展,不少机场开始从以城市轨道交通为主的单一模式向多层次轨道交通系统转变,因此,对于机场线运营组织模式的适应性分析是十分必要的。

各城市的机场定位、机场服务水平、机场与市区的距离均有所差别,导致了各城市衔接机场与城市中心区域的机场线运营模式的适应性也有所差别。本文从规划层面出发,基于现有机场线运营组织的实际数据,总结分析不同运营模式下机场线的特征及适用情况。本文研究可为机场线的规划与修建提供借鉴与指导。

1 机场线定义及分类

作为航空旅客集散的重要场所,航站楼从功能上可以将机场划分为空侧和陆侧两大部分。机场线是指连接机场陆侧的、为客运进行服务的所有轨道交通方式,其范围较广,包括干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通、有轨电车等多种系统制式,其建设的主要目标为实现旅客的快速出行、城区至机场半小时交通可达^[1]。本文主要研究陆侧机场线,不包括机场空侧的摆渡轨道交通线路。

根据运营模式,机场线可分为机场专线、城市轨道交通延伸线及市域(郊)铁路。对于市域(郊)铁路而言,由于其连接市郊的交通特性,因此使用快慢车运营组织模式居多。

2 机场线运营组织研究必要性分析

2.1 机场线发展现状

国发[2017]11号《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》指出,旅客年吞吐量超过1 000万人次的机场可利用城市轨道交通等骨干公共交通方式连接。截止2019年底,我国年旅客吞吐量为13.5亿人次,其中,年旅客吞吐量超过1 000万人次的机场达39座。在增长率方面,除2019年航空旅客的总吞吐量增速降至6.9%以外,近十年航空旅客的总吞吐量增速均保持在10.0%以上。目前,各城市均在积极规划及运营机场线。据不完全统计,截至2020年末,我国已经开通运营机场线的城市有35个,机场数量达到了38个^[2]。

目前,连接我国机场线的主要制式为地铁或轻轨,在连接机场线的38个机场中,有23个机场采用了地铁或轻轨制式。例如,上海虹桥国际机场和上海浦东国际机场均由多制式接入,形成了机场交通

枢纽中心。上海虹桥国际机场以城市轨道交通为主、高铁为辅,为旅客提供出行服务。上海浦东国际机场以城市轨道交通为主、磁悬浮线路为辅,为旅客提供出行服务。机场线正处于蓬勃发展的阶段,因此对于机场线运营组织的研究具有较大的现实意义。

2.2 机场线的特征

通过对我国大量机场线的运营指标整理及文献搜集可知,机场线具有以下几个特征:①运输距离长;②时间刚性强;③速度要求高;④车辆座椅更舒适、容量空间大;⑤项目建设受机场旅客吞吐量限制。

3 不同运营组织模式的机场线适应性分析

3.1 机场专线

3.1.1 机场专线的运营组织特点

机场专线的占比在机场线中相对较低。我国的机场专线仅有北京地铁首都机场线与上海磁浮列车示范运营线。国外的机场专线中比较有代表性的有希思罗机场快线和戴高乐机场快线等。国内外部分机场专线技术标准如表1所示。

表1 国内外部分机场专线技术标准						
Tab.1 Technical standards for some airport dedicated lines in China and abroad						
线路名称	线路长度/ km	车站数量/ 座	速度目标值/ (km/h)	旅行时间/ min	票价/ 元	平均站间距/ km
北京地铁首都机场线	27.3	4	110	22	25	6.91
上海磁浮列车示范运营线	30.0	2	430	7	50	30.00
希思罗机场快线	24.0	4	160	15	250	8.00
戴高乐机场快线(在建)	32.0	2	160	20	—	32.00
吉隆坡机场快线	57.0	2	162	28	55	57.00
阿兰达机场快线	39.0	2	200	20	128	39.00

通过整理表1的技术标准可以发现,机场专线一般具有以下几个特点:①通过大站间距实现乘客的快速出行,机场专线设站较少,一般中间仅设1座车站或不设站;②采用高于城市轨道交通其他线路的标准;③机场规模大、旅客剪吐量高;④票价高;

⑤列车空间大,乘坐舒适感强;⑥为保证乘客的快速出行,机场专线的线路与城市接入点主要集中于城市外围集散点,并不深入城市核心区,这造成了机场专线直达性差的特点。以北京地铁首都机场线为例,分析首都国际机场 T2、T3 航站楼至北京市区其他大型集散点的直达性情况,如图 1 所示。由图 1 可知,从首都国际机场出发至北京市区其他大型集散点(如天安门、北京南站等)均需换乘两次,到达北京西站站等站点则需换乘三次。对于携带行李的机场客流而言,换乘便捷性较低。



图 1 北京地铁首都机场线换乘分析示意图
Fig. 1 Interchange analysis diagram of Beijing Subway Capital Airport Express

3.1.2 机场专线适应性分析

1) 旅客年吞吐量要求。国家发展和改革委员会制定的发改基础[2015]49 号《关于加强城市轨道交通规划建设管理的通知》中明确指出,当机场旅客吞吐量>5 000 万人次/年时,需考虑建设机场专线的必要性。由此可见,机场专线对于客流的要求较高,对于一般规模的城市,其适应性较差。

2) 考量机场服务水平。在已有机场线的大型机场中,考虑另外增加建设机场专线。例如,英国希思罗机场、法国戴高乐机场均出于此种考量,在现存机场线的基础上增建了机场专线。

3) 评估社会效益、政治价值。机场专线在点对点出行的快速、舒适及旅行时间方面具有较大的优势。此种优势在提高及展示城市形象、城市国际地位方面具有重要的意义。

3.2 城市轨道交通延伸线

3.2.1 城市轨道交通延伸线的运营组织特点

城市轨道交通延伸线是目前我国机场线中使用最广泛的一种。国内外部分城市轨道交通延伸

线技术标准如表 2 所示。通过整理表 2 的技术标准可以发现,城市轨道交通延伸线具有以下几个特点:① 城区内设站较多且换乘节点较多,有利于吸引中心城区的客流,全线客流效益较好;② 平均站间距小,速度目标值低,全线旅行时间较长;③ 票价低,我国的票价一般在 5~8 元;④ 未将航空乘客与城市通勤乘客区分开,站立标准与既有线路一致,航空乘客舒适程度低;⑤ 运营组织简单,采用站站停运营模式。

表 2 国内外部分城市轨道交通延伸线技术标准

Tab. 2 Technical standards for some URT extension lines in China and abroad

线路名称	线路长度/ km	车站数量/ 座	速度目标值/ (km/h)	旅行时间/ min	票价/ 元	平均站间距/ km
广州地铁 3 号线	64.41	30	120	68	7.0	2.1
上海轨道交通 2 号线	64.00	30	80	85	6.0	2.2
武汉地铁 2 号线	60.80	38	80	80	8.0	1.6
沈阳地铁 2 号线	46.10	34	80	—	—	1.4
天津轨道交通 2 号线	27.00	20	80	50	5.0	1.3
新加坡樟宜机场快线	57.20	35	80	83	10.5	1.6
英国皮卡迪里线	71.00	53	80	100	27.0	1.4

3.2.2 城市轨道交通延伸线适应性分析

1) 旅客年吞吐量要求。国发[2017]11 号《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》指出,可以利用城市轨道交通等骨干公交方式,连接年吞吐量超过 1 000 万人次的机场。

2) 机场与市中心距离要求。服务对象以中心城区的通勤客流为主,同时兼顾机场客流。城市轨道交通延伸线的旅行速度较慢,乘客在途时间不宜过长,因此机场距离城市中心不宜过远。

3) 沿线城市发展与客流出行的需求。城市轨道交通延伸线的功能复合且通勤客流密度较高,为避免出现车厢拥挤程度过高或车站内人流堆积的情况,对于大型国际机场应在线网中规划不同功能的轨道交通线路,在建设时序上可根据客流需求区

别对待。

3.3 市域(郊)铁路

3.3.1 市域(郊)铁路的运营组织特点

市域(郊)铁路常采用快慢车运营模式,即同一条线路运营两种不同服务水平的列车,机场专线与城市轨道交通线路混合运营,兼顾两种功能。国内外部分市域(郊)铁路技术标准如表 3 所示。

表 3 国内外部分市域(郊)铁路技术标准

线路名称	线路长度/km	车站数量/座	速度目标值/(km/h)		旅行时间/min		平均站间距/km	
			快车	慢车	快车	慢车	快车	慢车
港铁机场快线	35.30	5	140	140	32	39	5.9	3.5
郑州地铁城郊线	31.70	15	100	80	45	60	6.3	2.0
成都地铁 18 号线	69.39	12	160	160	37	50	17.0	5.3
雄安新区地铁 R1 线	86.35	7	200	160	30	60	43.0	10.8
苏旺纳普机场快线	30.00	8	120	120	15	30	15.0	3.3

通过整理表 3 的技术标准可以发现,市域(郊)铁路具有以下几个特点:①快慢车混合运营,兼顾机场专线和城市轨道交通线路两种功能。一般情况下,快慢车速度目标值相同(也存在快慢车速度目标值不同的情况,例如郑州地铁城郊线和雄安新区地铁 R1 线),但由于停站数量不同,其旅行速度也不同。快车停站数量少,平均站间距长,旅行时间短。②部分市域(郊)铁路,同样也是城市轨道交通延伸线。郑州地铁城郊线,该线一期工程修建在城区,站间距较小。二期工程延伸至城市郊区,串联郊区组团的同时服务于机场客流。由于二期工

程站间距较大,一条线路上存在两种速度目标值的列车,即列车运行速度为 100 km/h 的快车和列车运行速度为 80 km/h 的慢车。在一期工程范围(城区)内不考虑快慢车同时运营,快车运营至一期工程范围后降速至 80 km/h,并实行站站停运营;而在二期工程范围,快车实行大站快车高速运行、慢车全线低速站站停运营。此类线路的快车用于满足机场线快速通勤的服务要求,而慢车的站站停运营模式可带动郊区沿线的开发。③运营管理模式复杂多样。在线路规划实施时,需考虑多种车站越行方案,既要便于快车灵活越行,又要节省工程投资,此外还需做到客流吸引与服务水平的良好衔接,线路规划实施难度较高、运营组织复杂。

3.3.2 市域(郊)铁路的适应性分析

1) 旅客年吞吐量要求。国发[2017]11 号《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》提出机场旅客年吞吐量需大于 1 000 万人次的要求。

2) 机场与市中心距离要求。由于快慢车同时服务于都市圈核心城市中心城区及都市圈内的其他城镇,若机场距离城市中心过近,沿线区域城市发展组团与空港组团成片状或带状发展,机场专线功能体现不足,因此机场与城市中心距离不宜过近。

3) 线路运能要求。市域(郊)铁路的通过能力较单种功能线路低,一般宜在运能较为富裕的情况下采用。

4) 线路敷设方式。越行线的设置对车站土建规模影响较大,鉴于站站停开行列车服务水平较低,与之对应的沿线重大客流集散点较少,片区发展强度不大,因此快慢车运营组织更适合在高架或地面线路上采用。

3.4 运营组织模式总结

对于上述 3 种运营组织模式的适应性分析总结如表 4 所示。

表 4 3 种运营组织模式适应性分析

运营模式	旅客年吞吐量要求/万人次	与市区距离	运营难度	机场规模	经济性	舒适性	旅行时间	其他要求
机场专线	≥5 000	不关注	简单	国际型大机场	高	高	快	机场社会效益
城市轨道交通延伸线	≥1 000	不宜过远	一般	不宜过大	低	低	较慢	以带动沿线区域发展为主,机场通勤功能为辅
市域(郊)铁路	≥1 000	不宜过近	复杂	无要求	低	低	快慢车有区别	带动沿线区域发展与机场通勤功能兼顾

4 机场线规划建议

4.1 多因素考虑,谨慎选择适宜的运营组织模式

机场专线沿线设站少,搭配专用座椅,兼顾快速性与舒适性,这些特征有利于机场与城市中心的快速出行,对于机场工作人员及往返于机场、城市的商务人员明显利好。同时,机场专线在提升城市形象、国际地位、扩大机场影响力等方面具有特殊意义。

城市轨道交通延伸线能够更好地满足沿线的客流出行需求,促进沿线城市的规划发展,但较大程度地降低了机场乘客的出行舒适度,旅行时间过长成为了限制城市轨道交通延伸线服务机场的重要原因。

市域(郊)铁路在运输组织中兼具机场专线与城市轨道交通延伸线的特征,在满足乘客快速出行需求的同时兼顾沿线城市的客流效益,但为保证快车越行,需在越行站设置越行线,因此线路条件受到限制。

3种机场线运营模式均有利弊,在机场线运营模式的选择上需要仔细权衡机场线的功能定位,谨慎选择适宜的运营模式。

4.2 适应时代发展,加快空港交通枢纽建立

随着城镇化率的不断提高,城市群不断发展,机场已由原先的城市边缘交通节点演变为城市群区域重要的交通枢纽节点。与此同时,机场的功能也日趋综合化,由原先的航空交通枢纽向综合立体交通枢纽转变,机场区域的发展亦向港、产、城融合发展快速迈进,规划单一功能的线路已不能满足国际大型机场乘客的出行需求。为积极适应城市发展及机场功能提升的要求,应加快空港枢纽的建立,形成多功能、多系统制式的立体空港综合交通枢纽衔接方案。

4.3 结合机场线客流特点,加大快慢车运营组织模式应用

国家发展和改革委员会制定的发改基础[2020]576号《关于促进枢纽机场联通轨道交通的意见》指出,机场线运营可适时开行快慢车,满足不同旅客的出行需要。

城市规模在不断扩大,新机场的规划选址距离市中心的距离也在不断增长。越来越多新规划建设机场线路选择快慢车运营模式(例如:成都地

铁18号线和雄安新区地铁R1线),快慢车运营正成为未来机场线的发展趋势,因此在行车组织模式上应加强研究,设计更为便捷的配线,以更好地满足列车的灵活运营功能。同时,借助于系统设备的先进性,加强土建方案的研究力度,以克服地下线路设置越行线投资过高的问题。

4.4 与时俱进,加强行李托运功能方面的研究

机场专线与快慢车运营线主要服务于机场客流,宜加强行李托运功能方面的研究。行李托运功能的实现可以使得乘客无需在乘车、登机时搬运行李,提高了乘客的乘坐舒适性,符合现代综合交通运输的要求。

国内也运营过具有行李托运功能的机场线,例如深圳地铁11号线和昆明轨道交通6号线,但均因运营组织难或工程造价等问题而以失败告终。虽然,最新运营的大兴机场线在草桥站内设立了国际和国内的值机柜台,但其行李托运须在飞机起飞2h前办理,这意味着乘客至少需在飞机起飞前2.5h到达地铁站,时间成本过高。目前,我国对行李托运功能的研究相对较少,应从与机场协调、车站配线、土建工程和运营管理等多方面加强对行李托运功能的研究,使得更多国内机场线路在运营中能实现此功能。

5 结语

随着国际性综合交通枢纽城市的建设、推进及轨道交通网络的不断完善,联通大型国际机场的轨道交通在功能实践中不断融合发展,各城市机场定位、服务水平、与市区的距离均有所差别,因此衔接机场与城区的机场线运营模式适应性也有所区别。本文将机场线运营模式复合线划分为机场专线、城市轨道交通延伸线和市域(郊)铁路,并从政策要求、机场与市区距离、线路功能与客流规模、运营组织难度、经济性和服务水平等多方面,系统地分析3种运营组织模式的建设适应性。最后,本文还提出了机场线的规划建议,为将来规划修建机场线的城市提供参考。

参考文献

- [1] 张晋,李松峰,王波.城市轨道交通机场线规划适应性研究[J].都市快轨交通,2019,32(6):38.

表 5 不同施工净距下铁路隧道开挖对公路隧道应力影响

Tab.5 Impact of railway tunnel excavation on highway tunnel stress under different construction clearances				
隧道净距/m	最大管片拉应力/MPa	最大管片压应力/MPa	最大钢筋拉应力/MPa	最大纵向螺栓应力/MPa
16	1.70(-0.21)	11.3(-1.4)	16.0(-2.0)	27.7(-10.7)
32	1.78(-0.13)	11.9(-0.8)	16.8(-1.2)	35.4 (-3.0)
48	1.84(-0.07)	12.2(-0.5)	17.3(-0.7)	37.8 (-0.6)

向收敛及水平收敛变形均有所减小,隧道整体发生背离后建隧道的刚体位移。公路隧道管片应力、钢筋应力及螺栓应力均有所减小,后建铁路隧道施工对先建公路隧道产生了侧向挤压的作用。

2) 不同施工净距下,铁路隧道施工对先建公路隧道的受力变形性能的影响规律基本一致。随着施工净距的增大,铁路隧道开挖对公路隧道的影响程度逐渐减小,公路隧道变形及应力变化幅值基本呈减小的趋势。

3) 本文模拟的工况为假定地层损失率为 0 的理想情况,实际施工过程中,需要考虑盾尾空隙、施工时效等因素造成的地层损失,后续研究应增加考虑铁路隧道施工过程中地层损失对公路隧道的影响分析。

参考文献

[1] 胡静,何志坚,王一洋,等. 新建盾构隧道近距离侧穿既有隧道相互影响分析[J]. 岩土工程技术, 2022, 36(1): 16.
HU Jing, HE Zhijian, WANG Yiyang, et al. Interaction analysis of new shield tunnel passing through existing tunnel in short distance [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2022, 36 (1): 16.

[2] 李卓霖,李茂源,范宇峰,等. 超大直径水下盾构隧道近接施工力学行为分析[J]. 公路, 2021, 66(1): 330.
LI Zhuolin, LI Maoyuan, FAN Yufeng, et al. Analysis on mechanical behaviors of proximity construction of super large diameter underwater shield tunnel[J]. Highway, 2021, 66(1): 330.

[3] 丁智,吴云双,张霄,等. 软土盾构隧道近距离穿越既有地铁影响数值分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49

(3): 663.

DING Zhi, WU Yunshuang, ZHANG Xiao, et al. Numerical analysis of influence of shield tunnel in soft soil passing over existing nearby subway[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2018, 49(3): 663.

[4] 张超. 地铁盾构小净距隧道净距影响研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
ZHANG Chao. A study on the distance effect of subway shield tunnels with small-spacing[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.

[5] 卢岱岳,王士民,何川,等. 新建盾构隧道近接施工对既有隧道纵向变形影响研究[J]. 铁道学报, 2016, 38(10): 108.
LU Daiyue, WANG Shimin, HE Chuan, et al. Research on effects of adjacent construction of new shield tunnel on longitudinal deformation of existent tunnel[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(10): 108.

[6] 孙洋,荣耀,习小华,等. 近接施工先行隧道盾构管片三维附加应力监测分析[J]. 公路, 2016, 61(4): 239.
SUN Yang, RONG Yao, XI Xiaohua, et al. Monitoring and analysis of the three-dimensional secondary stress during shield tunnel drive in close proximity[J]. Highway, 2016, 61(4): 239.

[7] 路平,蒋辉,郑刚. 盾构隧道的近接施工对已建隧道产生的影响[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(8): 1121.
LU Ping, JIANG Hui, ZHENG Gang. Impact on existing tunnel due to construction of new shield tunnel in close proximity[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2014, 40(8): 1121.

[8] 方晓慧. 盾构隧道近接施工对既有隧道的影响分析[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
FANG Xiaohui. Research on the shield tunnel exerts negative influences on nearby existing tunnels[D]. Changsha: Central South University, 2014.

(收稿日期:2022-10-07)

(上接第 93 页)

ZHANG Jin, LI Songfeng, WANG Bo. Planning adaptability of China's airport rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(6): 38.

[2] 鲁放,周旭,乔颖丽,等. 2020 年中国轨道交通机场线统计及空轨协同运营分析[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(6): 1.

LU Fang, ZHOU Xu, QIAO Yingli, et al. China's airport rail lines in 2020: statistics and analysis of cooperative operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 1.

(收稿日期:2021-03-30)