

以轨道交通车站为核心的枢纽机场地面交通 中心布局模式*

欧阳杰 胡艳霞

(中国民航大学交通科学与工程学院, 300300, 天津//第一作者, 教授)

摘 要 为从理论上研究大型枢纽机场综合化、立体化和多元化陆侧交通系统的规划建设,科学遴选适宜各枢纽机场发展定位和功能需求的陆侧综合交通枢纽设计方案。以机场地面交通中心为研究对象,分析了轨道交通车站与其他交通场站之间的交通组织结构关系,以及枢纽机场轨道交通系统制式组合类型。从交通特性、功能区块构成、引入轨道交通系统制式及其线路与场站分布等诸多方面研究了机场地面交通中心空间布局的技术特征及其优劣性,并结合国内外枢纽机场地面交通中心的典型应用实例,提出了以轨道交通车站为主体的机场地面交通中心的3种空间布局模式,即竖向错层式、同层集中式和同层分离式,并分析了每种布局模式的基本构成及其交通特性。最后,提出枢纽机场航站区的规划应实现航站楼与地面交通中心的统筹考虑,地面交通中心的布局模式应以轨道交通车站为核心,优先考虑满足旅客航空交通出行服务,并与其他交通场站高效耦合,以满足机场地区多元化交通出行的需求。

关键词 轨道交通; 车站; 枢纽机场; 地面交通中心

中图分类号 TU984.191; V351

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.05.011

Hub Airport Ground Transportation Center Layout Mode Centered on Rail Transit Sta- tion

OUYANG Jie, HU Yanxia

Abstract To theoretically study the planning and construction of a comprehensive, three-dimensional and diversified landside transportation system for large hub airports, and scientifically select the landside integrated transport hub design scheme suitable for the development orientation and functional requirements of each hub airport, taking airport GTC (ground transportation center) as research object, the traffic organization structure relation between rail transit stations and other transport stations is analyzed, as well as the combination types of hub airport rail transit systems. The technical characteristics

and superiority-inferiority of the spatial layout of airport GTC are analyzed from many aspects, including the traffic characteristics and functional block composition, the introduction of rail transit technology systems and the distribution of lines and stations. From the typical application examples of hub airport GTC around the world, three spatial layout modes of airport GTC with rail transit stations as the main body are proposed, namely the vertical staggered type, the same-floor centralization type and the same-floor separation type, and the basic composition and traffic characteristics of each layout mode are analyzed. Finally, it is proposed that the planning of hub airport terminal building area should coordinate the considerations about terminal building and GTC. The GTC layout mode should focus on rail transit station, give priority to passenger air travel service, and effectively couple with other transport stations to meet the needs of a diversified transportation and travel in airport area.

Key words rail transit; station; hub airport; ground transportation center

Author's address College of Transportation Science and Engineering, Civil Aviation University of China, 300300, Tianjin, China

截至2020年年底,北京、广州及成都等23个城市的机场已经引入了城市轨道交通线路,另有14个机场已经将高速铁路或城际铁路引入机场GTC(地面交通中心),这些机场基本构建了以空铁联运为主体的机场集疏运交通模式^[1]。此外,北京首都机场、天津滨海机场和济南遥墙机场等30多个枢纽机场还将引入高速铁路或城际铁路作为规划目标,以进一步提升机场作为城市对外交通枢纽的辐射功能。

目前,我国机场GTC的规划建设和运营管理存在两方面问题:①机场GTC的基本设计原理及容量

* 国家自然科学基金面上项目(51778615)

评估体系尚未健全,引入航站区的各类轨道交通组合系统的必要性和可行性有待科学论证;②轨道交通的建设时机和运营规模时常错位,导致规划、建设、运营环节相互脱节,各种轨道交通系统制式的引入数量和规模匹配性较差。因此,本文以机场 GTC 中的轨道交通车站为例,基于大量国内外的典型机场实例,从交通特性、功能模块构成及空间分布等角度出发,提出枢纽机场 GTC 布局模式。在当前大型枢纽机场陆侧交通系统日趋综合化、立体化和多元化的背景下,本研究可为机场航站区规划提供参考,也可为地面交通中心建筑设计方案的遴选提供技术支撑。

1 枢纽机场 GTC 的构成及其特性

1.1 GTC 场站结构关系及其基本构成

机场航站区的功能主体是由航站楼(主要服务于空侧交通)与 GTC(主要服务于陆侧交通)所组成的综合交通枢纽,其中 GTC 是以大容量轨道交通车站为主体,以服务航空交通为出发点,汇集多种交通方式的综合化、立体化的机场陆侧交通枢纽,其在优先满足航空旅客陆空换乘需求的基础上,还能够兼顾非航空旅客的地面交通换乘需求。机场 GTC 场站结构关系图如图 1 所示。

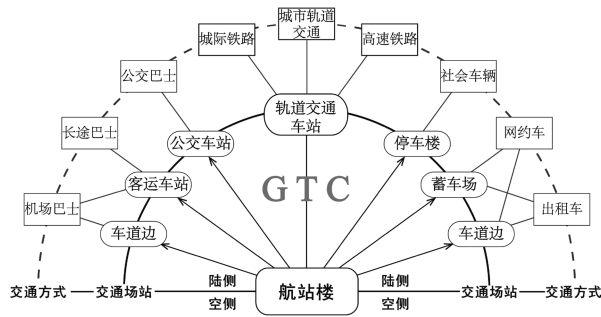


图 1 机场 GTC 场站结构关系图

Fig. 1 Structural relation diagram of airport GTC stations

机场 GTC 的基本构成主要分为 3 类:①场站交通设施。该类设施以大运量的轨道交通车站为主,衔接有出租车发车区、机场巴士站、长途巴士站、线路巴士站及停车场等机场陆侧交通中心场站设施,用于满足航空旅客及非航空旅客的地面交通出行需求。②集散通行设施。该类设施包括换乘大厅、换乘通道及楼层转换交通设施等。③商业服务设施。该类设施包括购物餐饮、休闲娱乐及商务酒店等服务类设施,用于满足旅客除交通出行以外的其

他服务需求。

1.2 枢纽机场 GTC 的功能特性

1) 陆侧交通系统的协同化。机场 GTC 以换乘大厅为核心,组织各种交通方式的换乘和通行,通过将停车场、轨道交通车站站台等静态交通设施和道路系统、车道边系统等动态交通设施有序化,使各类交通方式达到动、静态交通组织的整体平衡。

2) 交通换乘组织的立体化。在平面与竖向进行人流、车流的分离,优化各种交通方式的组织流线,解决人车混行带来的安全风险问题。

3) 航空旅客服务的前置化。机场 GTC 可提供值机、售票等业务,航空旅客不仅能提前换领登机牌,同时也可以办理行李托运,使旅客的舒适性和便捷性得以显著提升。

4) 交通服务方式的多元化。基于大型枢纽机场多航站楼、多航站区的发展态势,机场航站区不再局限于航站楼和 GTC 的单一配对,而趋于沿用引入多条或多种轨道交通线路及设置多航站区、多航站楼、多交通中心的形式,并且各航站区之间的 GTC 彼此分工合作,共同推动枢纽机场的航空服务范围的拓展^[2]。

2 枢纽机场轨道交通系统制式组合类型分析

机场轨道交通具有运量大、速度快、准点率高和享有专有路权等特点,可满足航空旅客不同层次的交通出行需求。随着枢纽机场所引入的轨道交通制式和数量的逐渐增长,机场 GTC 普遍由引入单一轨道交通系统制式向汇集 2 种或 2 种以上轨道交通系统制式的方向发展,这使得枢纽机场的航空服务范围逐渐从城市、城市群拓展至城市群以外区域,并成为机场与市区、市域、城市群及跨区域接驳最为高效的公共交通方式。机场轨道交通系统制式的组合类型及应用实例如表 1 所示。由表 1 可知,枢纽机场设置衔接城市轨道交通、城际铁路和高速铁路 2 种及 2 种以上系统制式的 GTC 最为普遍。

3 枢纽机场 GTC 布局模式分析

3.1 单一轨道交通系统制式下的 GTC 布局模式

在单一轨道交通系统制式下,多数枢纽机场的集疏运交通方式仍以道路交通为主导,采用机场 GTC 服务于单个航站楼的布局模式。该模式多适用于中小型机场,或者是航空功能受到约束或即将废弃的内城型机场。

表 1 机场轨道交通制式的组合类型及其应用实例

Tab.1 Combination types and application examples of airport rail transit systems				
轨道交通系统制式		站场和线路布局特点	机场应用实例	现有数量/个
1 种制式	城市轨道交通	发车间隔短,主要服务于市区,满足航空旅客和通勤乘客的出行需求	大连周水子国际机场、呼和浩特白塔国际机场、桂林两江国际机场	3
	高速铁路	一般平行通过航站楼,高铁站与航站楼毗邻,辐射城市群以外区域	海口美兰国际机场、三亚凤凰国际机场、吐鲁番交河机场	3
2 种制式	城市轨道交通+城际铁路	多数设在 GTC 地下,辐射市域和城市群内部	北京首都国际机场、北京大兴国际机场、广州白云国际机场、成都双流国际机场、西安咸阳国际机场、郑州新郑国际机场、武汉天河国际机场、厦门翔安国际机场(在建)、天津滨海国际机场、珠海金湾机场、合肥新桥国际机场、福州长乐国际机场、沈阳桃仙国际机场	13
	城市轨道交通+高速铁路	先接入城市轨道交通线路,后期建设高铁站并接入高铁线,分别辐射市区和城市群以外区域	成都天府国际机场、重庆江北国际机场、杭州萧山国际机场、南宁吴圩国际机场、长春龙嘉国际机场、青岛胶东国际机场、贵阳龙洞堡国际机场、济南遥墙国际机场、南昌昌北国际机场、温州龙湾国际机场(在建)、银川河东国际机场、西宁曹家堡国际机场	12
	城际铁路+高速铁路	城际铁路与高速铁路共线,共用站台设置在 GTC 外围	兰州中川国际机场(在建)	1
	城市轨道交通+磁浮线	结合市区、市域交通,服务于“一市两场”的机场体系	上海浦东国际机场(上海磁浮列车示范运营线)	1
3 种制式及以上	城市轨道交通+城际铁路+高速铁路	城际铁路站或高铁站为机场地区辅助客运站,辐射市区、市域和城市群及其以外区域	深圳宝安国际机场、上海虹桥国际机场、南京禄口国际机场、长沙黄花国际机场(长沙磁浮快线)、石家庄正定国际机场、太原武宿国际机场、哈尔滨太平国际机场、呼和浩特盛乐国际机场(在建)	8

3.2 多轨道交通系统制式下的 GTC 布局模式

城市轨道交通、城际铁路或高速铁路等多种轨道交通系统制式的线路接入机场 GTC,可同时满足市内、城市群内部或跨区域航空旅客的换乘需求,实现航站楼陆侧资源共享。这种布局模式适用于远郊型的大型枢纽机场,其 GTC 和航站楼组合通常会发展成城郊型综合交通枢纽。按照轨道交通车站站台层和轨道交通线路的空间布局特点,多轨道交通系统制式下的 GTC 布局模式分为竖向错层式、同层集中式及同层分离式 3 类。

3.2.1 竖向错层式

竖向错层式又分为竖向并行错层式和竖向交叉错层式两种。

3.2.1.1 竖向并行错层式

2 种不同轨道交通系统制式的站台层分别垂直叠加在 GTC 的上下层,城市轨道交通站台层通常设置在城际铁路或高速铁路站台层之上,在不同楼层乘坐轨道交通方式的旅客通过电梯、扶梯等垂直交通换乘设施在同一站厅层进行集散。例如,贵阳龙洞堡国际机场 GTC 引入了贵广高速铁路、贵阳环城铁路及贵阳轨道交通 2 号线,三者走向均平行于机场航站楼,实现了站厅一体化。贵阳龙洞堡国际机场的地下一层为铁路与地铁换乘共用站厅层,地下二层为地铁站台层,地下三层为高铁站台层。该布

局模式空间布局紧凑、换乘便利,需要航站区内 2 种不同轨道交通系统制式的轨道交通设施同期同步规划、建设和运营,否则其施工难度将较大。竖向并行错层式布局模式示意图如图 2 所示。

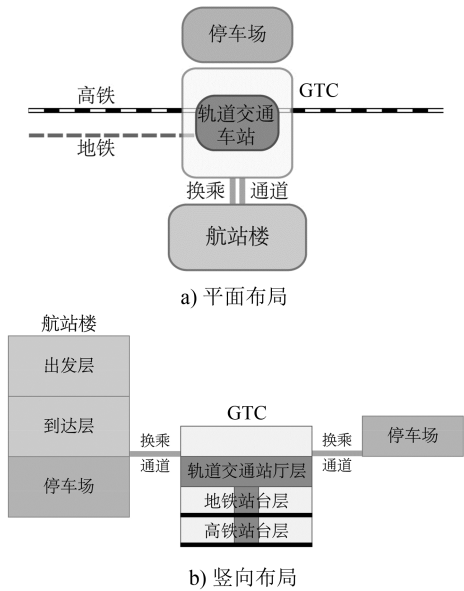


图 2 竖向并行错层式布局模式示意图
Fig.2 Diagram of vertical parallel staggered layout mode

3.2.1.2 竖向交叉错层式

不同轨道交通系统制式的轨道交通线路相互交叉错层,换乘空间集聚性有所加强。这种近乎零

换乘的交通组织模式极大方便了航空旅客进出航站楼,但有可能引发大量非航空旅客在交通中心集聚换乘的巨大需求,在 GTC 容量趋于饱和的情况下,应避免干扰航空旅客的进出港。例如,成都天府国际机场的多条高铁线路与城市轨道交通线路分别垂直或平行横穿南航站区,地铁站台层和高铁站台层各自错层设置在 GTC 的地下一层和地下二层,两者共用地面站厅层,共享售票、安检、候车及换乘等设施。机场 GTC 的道路交通场站设置在北航站区,非航空旅客也能便捷地换乘轨道交通或其他公共交通。该布局模式下的旅客换乘距离较短,但高铁线路和城市轨道交通线路需要分别下穿机场跑道和航站楼主楼,施工难度更大且工期更长。竖向交叉错层式布局模式示意图如图 3 所示。

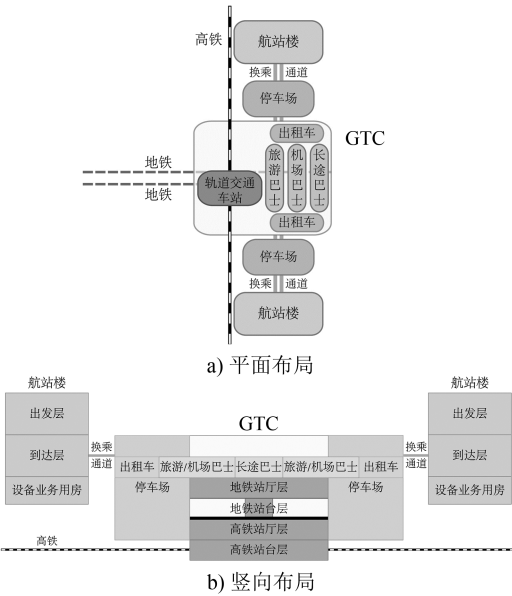


图 3 竖向交叉错层式布局模式示意图

Fig. 3 Diagram of vertical cross staggered layout mode

3.2.2 同层集中式

各种轨道交通系统制式的多条线路共同设置在同一站台层和站厅层之内,根据轨道交通车站与主航站楼的位置关系,可分为垂直主航站楼模式和双侧平行主航站楼模式^[3]。

3.2.2.1 垂直主航站楼模式

轨道交通车站作为 GTC 的主体结构垂直于航站楼,其 2 种以上不同轨道交通系统制式的线路并行在同层集中设置,且贯穿于主航站楼的下部结构。该布局模式能够最大程度地减少乘坐轨道交通方式的航空旅客的换乘距离。公交站、长途汽车站和停车场等其他道路交通中心场站设施一般设

置在 GTC 两侧,共享换乘大厅,减少旅客的换乘距离与识路难度。例如,北京大兴国际机场 GTC 引入了 5 条垂直于航站楼的不同轨道交通系统制式的线路,其所有站台层均设置在地下二层,广场式的换乘中心设置在地下一层,可与航站楼直接衔接。该布局模式下的各交通场站可共享 GTC 的内部集散空间,在减少资源浪费的同时也便于后期的管理维护。该布局模式的不足之处在于非航空旅客在不同轨道交通线路之间的横向换乘可能对纵向行进的航空旅客产生干扰,在非航空旅客换乘各类轨道交通出行需求较大的情况下,需要在 GTC 远离航站楼的位置设置轨道交通车站双向出入口,以便快速疏散非航空旅客,也基本实现航空旅客和非航空旅客的空间相对分离。垂直主航站楼布局模式示意图如图 4 所示。

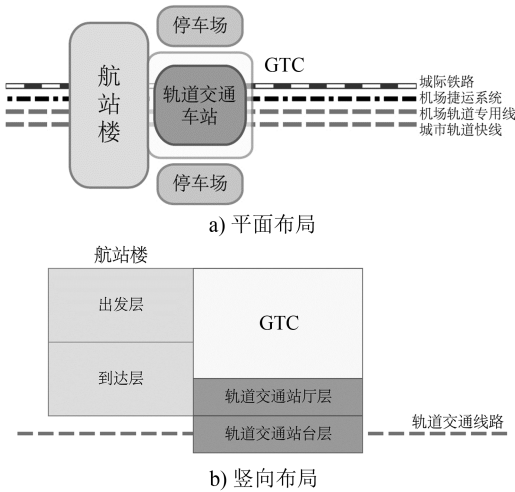


图 4 垂直主航站楼布局模式示意图

Fig. 4 Diagram of vertical layout for main terminal building

3.2.2.2 双侧平行主航站楼模式

多条线路并行的城市轨道交通、城际铁路或高铁平行航站楼接入机场 GTC,其他交通场站采用与轨道交通车站走向一致的顺向设置形式。由于需要考虑到高铁或城际铁路的运行速度、转弯半径及防护安全,其线路走向常采用平行主航站楼的长向方向设置,机场巴士等其他交通方式则采用车道边发车位的形式就近布设在航站楼前。例如,上海浦东国际机场 GTC 接入了上海磁浮列车示范运营线、上海轨道交通 2 号线及机场铁路联络线(规划实施中)3 种轨道交通系统制式,公交车站与长途车站的港湾式发车位分别设置在轨道交通车站的两侧,上下汽车的旅客可通过 6 m 高的空中步行连廊抵离

T1 航站楼和 T2 航站楼。该布局模式下的轨道交通车站地处航站楼外围,不但兼顾了与航站楼的合理步行距离,还避免了轨道交通线路下穿和站场布局对航站区所造成的不利影响。但该布局模式要求航站楼与轨道交通车站站台之间具有较大空间的换乘集散大厅或换乘通道^[4]。双侧平行主航站楼布局模式示意图如图 5 所示。

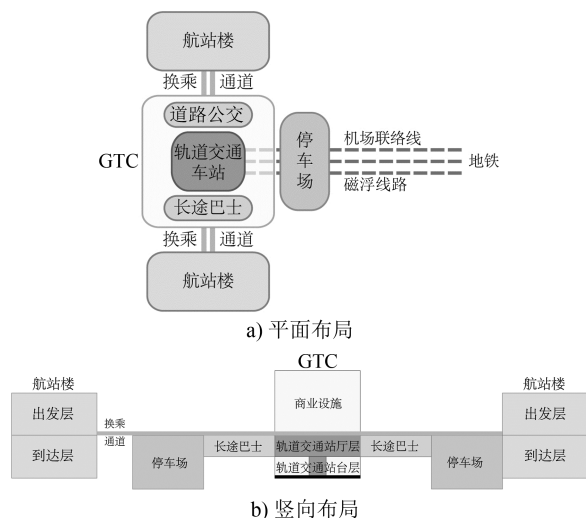


图 5 双侧平行主航站楼布局模式示意图

Fig. 5 Diagram of bilateral parallel to main terminal building layout mode

3.2.3 同层分离式

同一航站区分别设置 2 座空间相对分离且各自独立运营的不同制式 and 不同服务目标的轨道交通车站,这 2 种或 2 种以上轨道类型的线路走向相互平行或交叉,轨道交通车站之间通过地下通道或换乘大厅相互衔接。根据旅客换乘数量、候车时间和发车频次,各轨道交通车站的站厅、站台与航站楼的接驳位置布置有所不同。例如,杭州萧山国际机场先期运营的地铁站与预留的城际铁路火车站及高铁车站之间通过行人通道共同连通换乘大厅,并衔接 GTC 内部的机场巴士、长途巴士等场站,航空旅客可快速换乘两侧的轨道交通,非航空旅客换乘轨道交通则需穿过换乘大厅。该布局模式通过延长换乘距离的方式使得非航空旅客的换乘行为受到一定程度上的限制。双轨道交通车站的通道衔接式有利于不同轨道交通系统制式的机场轨道交通分期、分段及分区建设,使得 GTC 的建设运营灵活性大大增加。该布局模式适合于 GTC 分期建设方案,多用于航站区近期陆侧用地富余、远期规划运营规模大的枢纽机场,通常是先行建设城市轨道

交通车站,并同时预留城际铁路火车站和高铁车站的用地空间。同层分离式布局模式示意图如图 6 所示。

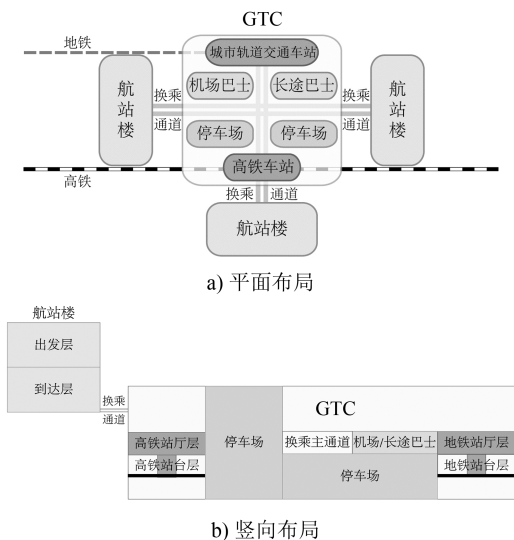


图 6 同层分离式布局模式示意图

Fig. 6 Diagram of same-floor separation layout mode

3.3 枢纽机场 GTC 布局特性

总体而言,新建或改扩建的大型枢纽机场无一例外地在规划阶段都充分考虑了与各类轨道交通制式相结合的可能性。北京大兴国际机场、成都天府国际机场等典型案例充分体现了这种各交通场站集成,且组织空铁联运模式的共赢优势。由于不同机场引进的轨道交通系统制式与线路数量各不相同,其枢纽机场 GTC 布局特性也不尽相同。引入多种轨道交通系统制式的枢纽机场 GTC 布局特性如表 2 所示。

4 结语

在枢纽机场总体规划逐渐呈现多航站楼、多航站区特征,以及引入枢纽机场的轨道交通线路趋于多制式、多路径的背景下,枢纽机场航站区的规划需要统筹考虑航站楼和 GTC 的一体化设计,其中 GTC 布局模式的遴选至关重要,其规划布局应以轨道交通车站为核心,与长途汽车站、道路公交车站及机场巴士站等其他交通场站设施实现高效耦合。一旦 GTC 布局模式得以确定,其 GTC 的建筑设计便应从通用性的布局模式向特色性的概念设计转化,在优先满足航空交通出行服务且又兼顾未来多元化交通出行需求的基础上,最终选择适宜特定机场集疏运交通体系的、且容量与需求相对平衡

表 2 引入多种轨道交通系统制式的枢纽机场 GTC 布局特性

Tab. 2 Layout characteristics of hub airport GTC with multiple rail transit systems

GTC 布局模式		布局特性	适用范围	典型案例机场
竖向错层式	并行错层式	不同类型的轨道交通可独立运营,轨道交通线路一般平行于航站楼设置	现有航站楼主楼前的改扩建	贵阳龙洞堡国际机场、西宁曹家堡国际机场、温州龙湾国际机场、南宁吴圩国际机场
	交叉错层式	不同轨道交通系统制式的站台分离,易受电梯等垂直换乘设施的容量限制,轨道交通线路可同时下穿机场跑道和主航站楼	航站区规划、建设和运营三者同步	成都天府国际机场、昆明长水国际机场、长沙黄花国际机场、重庆江北国际机场、天津滨海国际机场 T3 航站楼
同层集中式	平行主航站楼	场站采用就近布设,顺向设置,与轨道交通车站走向一致,避免轨道交通设施对航站区的影响	对称式双主楼布局的航站区	兰州中川国际机场、西安咸阳国际机场 T5 航站楼、上海浦东国际机场
	垂直主航站楼	可最大程度抵近航站楼,进出人流集中于主航站楼,同时还可服务周边其他航站楼	多航站楼呈围合式布局的航站区	北京大兴国际机场、广州白云国际机场、郑州新郑国际机场、青岛胶东国际机场、武汉天河国际机场、厦门翔安国际机场
同层分离式		可分期建设和运营,各部分相对独立,便于管理;有专属通道设施连接各轨道交通车站	航站区分期新建或改扩建	杭州萧山国际机场、北京首都国际机场、深圳宝安国际机场、福州长乐国际机场、宁波栎社国际机场

的地面综合交通中心设计方案。

参考文献

[1] 唐怀海,潘昭宇. 枢纽机场与多层次轨道交通体系的衔接布局[J]. 城市交通,2020,18(4): 79.
TANG Huaihai, PAN Zhaoyu. Connecting layout between hub airport and multilevel rail transit system[J]. Urban Transport of China,2020,18(4): 79.

[2] 孙一兵. 我国机场综合交通枢纽换乘中心建筑设计浅析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014.
SUN Yibing. Explore the architectural design of the comprehensive transportation hub airport transfer center in China[D]. Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology,2014.

[3] 欧阳杰,李相志,邓海超. 机场陆侧交通设施竖向布局模式研

究[J]. 城市轨道交通研究,2017,20(10): 53.
OUYANG Jie, LI Xiangzhi, DENG Haichao. On the vertical layout pattern of airport land transit facilities[J]. Urban Mass Transit,2017,20(10): 53.

[4] 欧阳杰,胡艳霞,张振飞. 枢纽机场航站区陆侧车道边布局模式研究[C]//工业建筑杂志社有限公司. 2020 年工业建筑学术交流会议论文集(中册). 北京:工业建筑杂志社,2020: 60.
OUYANG Jie, HU Yanxia, ZHANG Zhenfei. Research on landside driveway section layout mode of hub airport terminal area[C] //Industrial Construction Magazine. Proceedings of 2020 Industrial Construction Academic Exchanges Forum (Second Volume). Beijing: Industrial Construction Magazine Agency Co., Ltd., 2020: 60.

(收稿日期:2021-01-14)

(上接第 54 页)

[6] 王志强,赵祥. 南阳膨胀土膨胀特性的试验研究[J]. 中国水能及电气化,2013(4): 24.
WANG Zhiqiang, ZHAO Xiang. Experimental study of expansion characteristics of Nanyang expansive soil[J]. China Water Power & Electrification, 2013(4): 24.

[7] 于佳丽. 冻融循环下钢渣粉改良膨胀土工程力学特性试验研

究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.
YU Jiali. Experimental study on engineering mechanical properties of expansive soil improved by steel slag powder under freeze-thaw cycles[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2019.

(收稿日期:2020-10-15)

(上接第 58 页)

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通,2020(4): 8.
China Association of Metros. Development outline of smart city rail transit in China[J]. China Metros, 2020(4): 8.

[2] 牛惠民,田小鹏,高如虎,等. 时变客流驱动的城市轨道交通客流匹配与时刻表调整方法: 201711340512.2[P]. 2018-05-29.

NIU Huimin, TIAN Xiaopeng, GAO Ruhui, et al. Passenger flow matching and timetable adjustment of urban rail transit driven by time-varying passenger flow: 201711340512.2[P]. 2018-05-29.

[3] 孙舒森,赵嘉伟,张宁. 轨道交通路网仿真中乘客出行路径的确定[J]. 铁路通信信号工程技术,2020(12): 41.
SUN Shumiao, ZHAO Jiawei, ZHANG Ning. Determination of passenger travel path in rail transit network simulation[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2020(12): 41.

(收稿日期:2022-11-14)