

基于换乘效率研究的轨道交通枢纽站设计实践 ——以杭州绿汀路站为例

张旭东

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 随着城市化进程的加速,轨道交通枢纽站在城市交通体系中的地位日益凸显。绿汀路站是杭州市轨道交通网络的重要节点,是杭州地铁3号线、5号线与16号线的三线换乘站。首先,从线路走向、建设时序、客流特征、换乘效率等方面进行分析和比较,推荐采用双岛叠岛换乘方案;然后,在竖向设计中,从站位、规模、公共区布置、进出站能力及换乘能力等方面对2个竖向方案进行了比选,最终选择了5号线站台在上的竖向设计方案;最后,为了验证换乘方案的有效性,采用Legion软件进行客流模拟,从而进行换乘能力复核。结果表明,绿汀路站的平均客流密度处于舒适水平,换乘流线便捷,客流组织有序,能够满足高峰时段的客流需求。

关键词: 轨道交通; 枢纽站; 换乘效率; 竖向设计

中图分类号: U231.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0049-05

Design and Practice of Rail Transit Hub Station Based on Transfer Efficiency in Hangzhou Luting Road Station

ZHANG Xudong

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the acceleration of urbanization, the position of rail transit hub station in the urban transportation system is increasingly prominent. As an important node in the rail transit network of Hangzhou, Luting Road Station is a three-line transfer station of Metro Line 3, Metro 5 and Metro 16 in Hangzhou. Firstly, the analysis and comparison are carried out from the aspects of line alignment, construction time sequence, passenger flow characteristics and transfer efficiency to recommend the double-island overlapping-island transfer scheme. Then two vertical schemes are compared and selected from aspects of station position, scale, public area layout, station access capacity and transfer capacity in the vertical design. And the vertical design scheme of the platform on Line 5 is chosen. Finally, in order to verify the efficiency of transfer scheme, the software Legion is used to simulate the passenger flow so as to recheck the transfer capacity. The result shows that the average passenger flow density of Luting Road Station is at the comfortable level with the convenient transfer flow line and orderly passenger flow organization, which can meet the demand of passenger flow in peak hours.

Keywords: rail transit; hub station; transfer efficiency; vertical design

0 引言

随着城市化进程的加速,轨道交通枢纽站在城市交通体系中扮演着越来越重要的角色。枢纽站不仅是乘客转乘的必经之地,也是城市交通网络的关键节点。

本文以杭州轨道交通绿汀路站为例,探讨如何通过合理的方案研究,打造出一个高效、便捷、舒适

的换乘枢纽站,提高车站的服务水平,为乘客提供便捷、舒适的出行环境。

1 工程概况

绿汀路站位于杭州余杭区水乡北路与绿汀路交叉路口,沿水乡北路东西向布置,是杭州地铁3号线、5号线与16号线的换乘站。至2021年年底,该换乘站的三线车站全部通车试运营,是杭州轨道交通线网中的重要枢纽站。

2 换乘方案研究

枢纽站的设计核心是换乘方案的选择。错误的

收稿日期: 2024-04-15

作者简介: 张旭东(1977—),男,学士,高级工程师,从事轨道交通建筑设计工作。

换乘方式会导致换乘能力无法匹配客流,造成局部客流拥堵,降低车站服务水平,甚至可能导致预留的换乘节点无法利用,造成工程废弃。因此,应在设计初期结合内外部因素选择合理的换乘方案,提高换乘效率,降低施工风险,提升车站服务水平。

本文从线路走向、建设时序、客流特征、换乘效率等方面分析绿汀路站的换乘方案。

2.1 线路走向

根据杭州轨道交通线网建设规划,在3号线、5号线、16号线绿汀路站站位处,三线线路均沿着水乡北路东西向平行走行(见图1)。

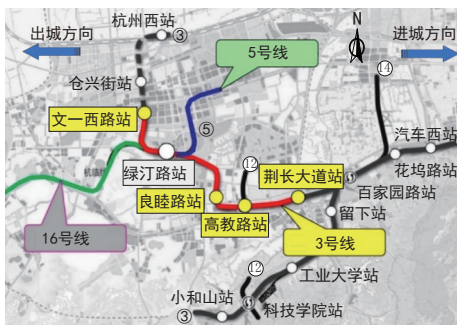


图1 绿汀路站站位处三线线路走向图

在不调整线路走向的情况下,三线间很难采用十字形、T形等节点换乘及通道换乘方式,应优先考虑平行站厅换乘和同站台换乘方式。

2.2 建设时序

根据杭州轨道交通三期建设规划,5号线、16号线建设时序相同,均在2020年建成,3号线在2021年建成。三线建设时序相近,线站位稳定,同步建设不存在因线站位变化而产生废弃工程的问题。

2.3 客流特征

根据三线的客流资料分析:16号线的换乘客流占其总客流量的比例超过80%,3号、5号线的换乘客流占其总客流量的比例均超过70%,三线的换乘客流均远大于进出站客流,因此换乘的便捷性是换乘设计的首要控制因素。

根据预测换乘客流资料(见表1)分析,早高峰是换乘客流控制期,各线间的换乘量统计如下:早高峰的三线间换乘总量为1096+833+389+5115+523+11552+1381+748+8789+4112=34538人次/h;16号线与3号线间的换乘量为389+5115+11552+748=17804人/h;16号线与5号线间的换乘量为8789+4112=12901人/h;3号线与5号线间的换乘量为523+1381+1096+833=3833人/h。

换乘占比情况如下:16号线与3号线的换乘量

表1 绿汀路站远期(2047年)预测换乘客流表 单位:人次/h

时段	绿汀路站 三线	3号线 进城	3号线 出城	5号线 进城	5号线 出城	16号线 进城	16号线 出城
早高峰	3号线 进城			1 096			389
	3号线 出城			833			5 115
	5号线 进城						
	5号线 出城	523	1 381				4 112
	16号线 进城	11 552	748	8 789			
晚高峰	16号线 出城						
	3号线 进城			1 097			617
	3号线 出城			449			8 762
	5号线 进城						
	5号线 出城	587	1 140				7 337
	16号线 进城	3 900	382	3 132			
	16号线 出城						

(52%)>16号线与5号线的换乘量(37%)>3号线与5号线的换乘量(11%)。

从换乘客流构成来看:3号线与16号线间的换乘量最大,故方案设计优先考虑这两条线相互间的换乘便捷,推荐3号线与16号线间采用双岛四线的同台换乘方式;5号线与3号线、16号线间的换乘考虑采用叠台布置,台台间设置专用楼扶梯进行换乘。

2.4 换乘效率

枢纽站要实现高效便捷,确保乘客能够快速、顺畅地完成换乘,就需要缩短换乘时间和步行距离,故方案设计对可能的换乘形式进行了换乘效率上的比选。

2.4.1 行人步行速度参数确定

根据北京、上海等城市轨道交通车站内部的行人交通流特性研究成果,性别比例选择男女各50%,通道内乘客步行速度及比例见表2。

考虑计算方便,参数确定如下:步行速度按平均数1.0 m/s确定;楼梯步行速度一般为通道步行速度的一半,按0.5 m/s确定;自动扶梯的运行速度按0.65 m/s确定。

2.4.2 各换乘方案效率计算

换乘效率计算时,考虑将各线间换乘量占比进

表2 换乘通道内乘客步行速度及占比表

步行速度/(m·s ⁻¹)	百分比/%
<0.6	5
<0.7	5
<0.8	10
<0.9	10
<1.0	20
<1.1	20
<1.2	10
<1.3	10
<1.4	5
<1.5	5

行换乘总时间折算。

(1) 双岛叠岛换乘方案

布置方式:双岛叠岛换乘为同站台直接换乘(3号线与16号线之间)及上下站台楼扶梯换乘(5号线与3号线、16号线之间),如图2所示。

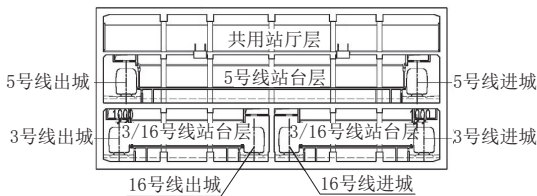


图2 双岛叠岛换乘方案示意图

换乘距离:同站台换乘,水平向14 m,竖向0 m;上下站台楼扶梯换乘,竖向8.2 m(自动扶梯长度22.7 m)。

换乘时间(计算均取整数):同站台换乘,14/1.0=14 s;上下站台楼扶梯换乘,22.7/0.65=35 s。

折算后各线换乘时间总计(计算取整数):14×52%(3号线与16号线)+35×37%(5号线与16号线)+35×11%(5号线与3号线)=24 s。

(2) 三线站厅换乘方案

布置方式:三线并列布置,依次为5号线、16号线、3号线,三线间采用站厅换乘方式,如图3所示。

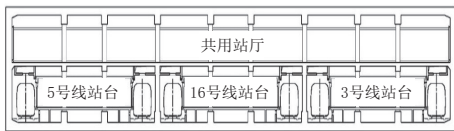


图3 三线站厅换乘方案示意图

换乘距离:同站厅贴邻换乘(16号线与3号线、5号线之间),水平向24 m,竖向5.1 m+5.1 m(自动扶梯长度17.3 m+17.3 m);同站厅相隔换乘(5号线与3号线之间),水平向48 m,竖向5.1 m+5.1 m(自动扶梯长度17.3 m+17.3 m)。

换乘时间(计算均取整数):同站厅贴邻换乘,24/1.0+34.6/0.65=77 s;同站厅相隔换乘,48/1.0+

34.6/0.65=101 s。

折算后各线换乘时间总计(计算取整数):77×52%(3号线与16号线)+77×37%(5号线与16号线)+101×11%(5号线与3号线)=80 s。

(3) 站厅换乘+十字换乘组合换乘方案

3号线与5号线同站厅换乘,16号线与3号线、5号线采用十字换乘(节点楼梯换乘),如图4、图5所示。

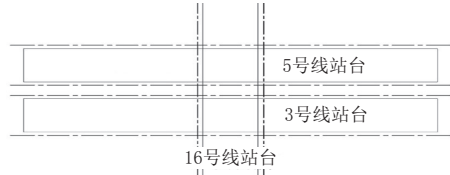


图4 站厅换乘+十字换乘组合换乘方案平面示意图

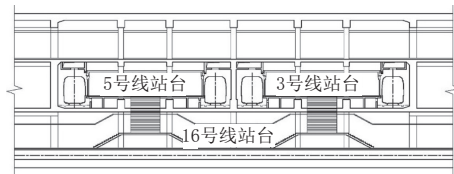


图5 站厅换乘+十字换乘组合换乘方案剖面示意图

换乘距离:同站厅换乘,水平向24 m,竖向5.1 m+5.1 m(自动扶梯长度17.3 m+17.3 m);十字换乘(节点楼梯换乘),竖向7.0 m(楼梯长度20 m)。

换乘时间(计算均取整数):同站厅换乘,24/1.0+34.6/0.65=77 s;十字换乘(节点楼梯换乘),20/0.5=40 s。

折算后各类型换乘时间总计(计算均取整数):77×11%(3号线与5号线)+40×52%(16号线与3号线)+40×37%(16号线与5号线)=44 s。

(4) 工字节点换乘

16号线与3号线、5号线之间采用工字节点换乘,3号线、5号线之间采用通道换乘,如图6所示。

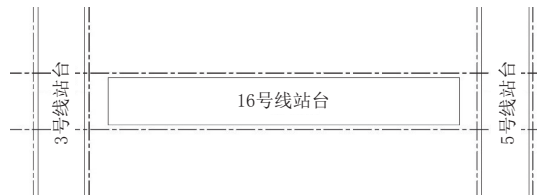


图6 工字节点换乘方案示意图

换乘距离:工字节点换乘,水平向75 m(站中心至站中心),竖向7.0 m(楼梯长度20 m);通道换乘,水平向150 m,竖向7.0 m+7.0 m(楼梯长度20 m+20 m)。

换乘时间(计算均取整数):工字节点换乘,75/1.0+20/0.5=115 s;通道换乘,150/1.0+40/0.5=230 s。

折算后各类型换乘时间总计(计算取整数):

$115 \times 52\%$ (16号线与3号线) + $115 \times 37\%$ (16号线与5号线) + $230 \times 11\%$ (3号线与5号线) = 128 s。

2.4.3 换乘效率总结

双岛叠岛换乘方案,折算后换乘总时间 24 s;三线站厅换乘方案,折算后换乘总时间 80 s;站厅换乘+十字换乘组合换乘方案,折算后换乘总时间 44 s;工字节点换乘方案,折算后换乘总时间 128 s。

从换乘效率分析,双岛叠岛换乘方案的换乘效率远优于其他换乘方案。

2.5 换乘方案推荐

三线在站点处为平行走向,建设时序相近,通过对客流特征的分析 and 换乘效率的比较,推荐采用双岛叠岛换乘方案。

3 竖向设计

确定了换乘形式后,对于竖向上选择5号线站台在下还是在上面,还需要进一步研究。

3.1 方案1(5号线站台在下)

竖向方案1:地下一层三线共用站厅层,3号线、16号线站台在上(地下二层),5号线站台在下(地下三层),如图7所示。

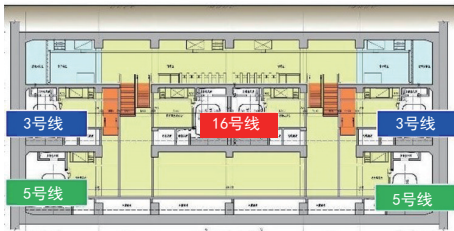


图7 方案1竖向设计剖面图

地下一层为共用站厅层,付费区内上下各纵向设置4组楼扶梯,分别连接地下二层双岛站台及地下三层大岛站台,如图8所示。

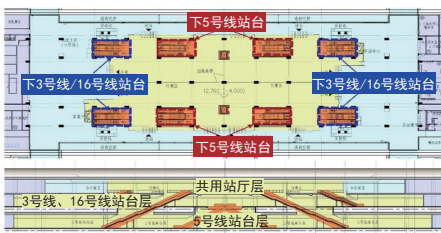


图8 方案1站厅公共区布置图

地下二层为16号线、3号线站台层,为双岛四线形式。每个岛式站台设置4部扶梯及2部楼梯连接站厅,设置1组交叉扶梯与地下三层5号线站台换乘。

受纵向楼扶梯组的阻隔,本方案同台换乘客流交换空间最大处仅 10 m,高峰期易形成瞬时客流拥

堵,如图9所示。

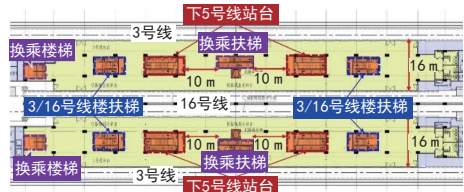


图9 方案1地下二层站台公共区布置图

地下三层为5号线站台层,设置了4组楼扶梯连接站厅层,中部设置交叉扶梯与地下二层16号线、3号线站台换乘,如图10所示。

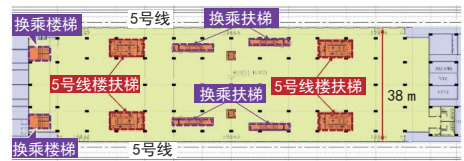


图10 方案1地下三层站台公共区布置图

3.2 方案2(5号线站台在上)

竖向方案2:地下一层三线共用站厅层,5号线站台在上(地下二层),3号线、16号线站台在下(地下三层),如图11所示。

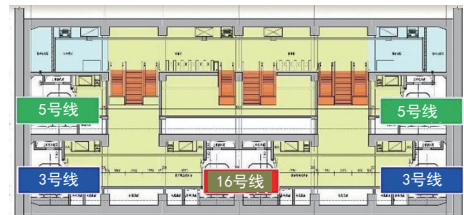


图11 方案2竖向设计剖面图

地下一层为共用站厅层,付费区内共设置4组楼扶梯(下二层、下三层楼扶梯横向并列布置)分别连接地下二层大岛站台及地下三层双岛站台,即2组无障碍电梯结合上行扶梯,如图12所示。

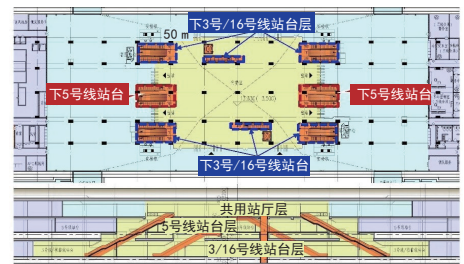


图12 方案2站厅公共区布置图

地下二层为5号线站台层,设计充分利用大岛特点,下二层、下三层楼扶梯横向布置,并在中部设置1组楼扶梯与地下三层换乘。同时,该大岛站台可起到第二站厅的作用:地下三层16号线、3号线逆向换乘的客流可上至该层进行换乘,避免上至站厅与进出站客流混杂在一起,如图13所示。

地下三层为16号线、3号线站台层,每个站台上

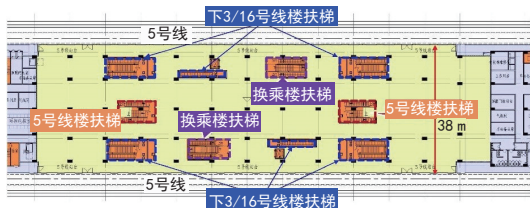


图13 方案2地下二层站台公共区布置图

设置5部扶梯及2部楼梯连接站厅,设置1组楼梯扶梯与地下二层5号线站台换乘,如图14所示。

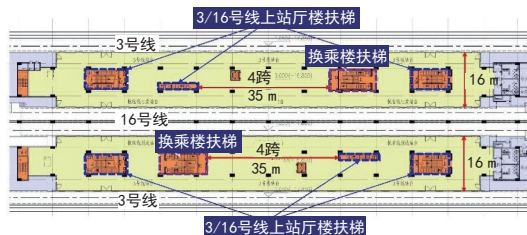


图14 方案2地下三层站台公共区布置图

3.3 方案比选

设计从站位、规模、公共区布置、进出站能力及换乘能力等方面对竖向方案进行了比选(见表3)。

表3 竖向设计方案比选表

对比项目	方案1 (5号线站台在下)	方案2 (5号线站台在上)
车站站位	站中心跨绿汀路,不过林场港	站中心跨绿汀路,不过林场港
车站规模	总建筑面积52 850 m ² ,标准段埋深25.81 m	总建筑面积53 042 m ² ,标准段埋深25.8 m
公共区布置	2跨(非付费)+8跨(付费)+2跨(非付费)	3跨(非付费)+6跨(付费)+3跨(非付费)
进出站流线及能力	16号线、3号线	提升高度5.1 m,每个岛式站台设4部扶梯+2部楼梯上站厅
	5号线	提升高度13.3 m,站台设8部扶梯+4部楼梯上站厅(富裕)
换乘流线及能力	16号线、3号线	同台换乘,纵向有5组楼梯扶梯阻隔,最大空隙1跨
	5号线	上下换乘,中部双扶+端部楼梯

3.4 推荐结论

两方案的站位、规模、进出站能力基本相同,但在换乘能力方面,方案2优于方案1,38 m宽站台的利用率更高,故最终推荐的竖向设计方案为方案2(5号线站台在上),如图15所示。

4 换乘能力复核

在最终的实施方案中,3号线与16号线之间可同站台换乘,5号线与3号线、16号线之间通过专属



图15 绿汀路站剖面透视图

换乘扶梯实现“站台—站台”零距离换乘。该方案可以有效减少换乘时间,减少高峰大客流量时的人流干扰,显著提高不同线路中乘客的换乘效率。

但是,考虑到该换乘形式为国内首次采用,为了验证方案的有效性,设计时利用 Legion 软件进行了行人仿真模拟(见图16),并进行换乘能力复核。

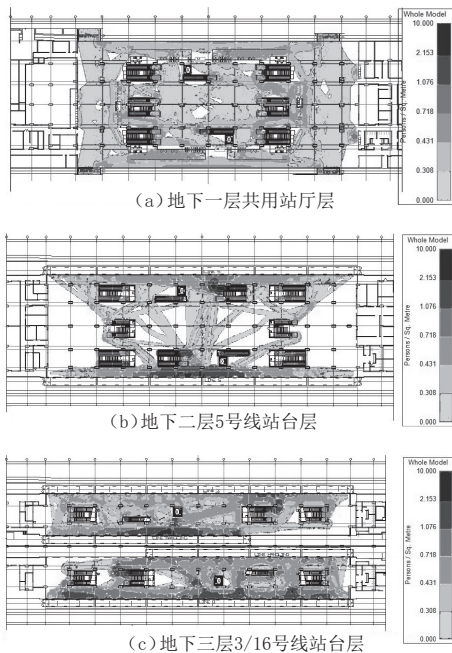


图16 客流模拟成果图

客流模拟图中,密度越高色调越深,密度越低色调越浅。

模拟结果表明,绿汀路的平均客流密度处于舒适水平,即A级(浅灰色)至C级(中灰色),且在车辆到达时,侧站台的客流密度也未超过警戒值(E级,黑色)。这表明车站的换乘流线便捷,客流组织有序,能够满足高峰时段的客流需求,目前的换乘方案服务水平可以匹配客流。

5 结论与展望

绿汀路站的设计实践表明,通过科学的理论研究,选择合理的换乘方式,可以实现枢纽站高效、便

(下转第57页)