

Research on the Design of the Extension of Existing Transportation Hub—A Case Study of the Shenyangbei Subway Station

Pengfei Ma

China Railway Design Corporation, Tianjin
Email: 29579724@qq.com

Received: Jun. 1st, 2019; accepted: Jun. 19th, 2019; published: Jun. 26th, 2019

Abstract

In China, lots of existing subway stations meet the issue that the passenger flow cannot be satisfied in the service stage, because the research on the passenger flow organization during the design stage is not sufficient. Thus, the subway stations meeting the passenger flow issue were transformed and upgraded. For this issue, based on the case history of transform of Shenyangbei Station, an intact design process was proposed in this paper, which considered the passenger flow organization sufficiently. The main research contents are as follows: 1) The passenger flow of Shenyangbei Station was reorganized based on the addition of Subway Line 4. According to the reorganization of the original passenger flow, a multi-dimensional passenger flow system was formed. 2) The architectural scheme of Shenyangbei Subway Station was completed based on the multi-dimensional passenger flow system formed by reorganization of the passenger flow. The numerical simulations were conducted to investigate the passenger flows under the emergency evacuation condition and the forward peak passenger flow condition using the numerical passenger flow simulation technology. The final architectural scheme of Shenyangbei Subway Station was determined by the simulation results. 3) Based on the expansion of the transportation hub of Shenyangbei Subway Station, the corresponding design proposals were proposed in terms of the reserve project for the extended transportation hub and the expansion project in the future. For the extended transportation hub, forward-looking design should be employed for the reserved project at the initial design stage. Sufficient connectors should be reserved, and the solution should be inclusive. The existing traffic functions of the expansion project should be ensured. After the reorganization of the passenger flow, the architectural design of the expansion project should be completed according to the passenger flow requirements.

Keywords

Transportation Hub, Passenger Flow Organization, Passenger Flow Line, Passenger Flow Simulation, Transportation Connection

既有改造扩建型交通枢纽站的设计研究——以沈阳北站为例

马鹏飞

中国铁路设计集团有限公司，天津

Email: 29579724@qq.com

收稿日期：2019年6月1日；录用日期：2019年6月19日；发布日期：2019年6月26日

摘要

国内存在较多既有车站改造升级的交通枢纽在设计过程中由于对客流组织的研究不够导致其开通后存在客流瓶颈问题。针对该问题，以沈阳北站的改造升级为例提出了一种充分考虑客流组织的设计流程，本文主要进行了以下研究：1) 基于地铁4号线的引入，对沈阳北站交通枢纽的客流进行重新梳理，结合原有客流进行二次组织，形成集多种交通方式的多维客流体系。2) 在客流二次组织形成多维客流体系的基础上，完成沈阳地铁4号线沈阳北站建筑方案。引入仿真客流模拟技术，对远期高峰客流情况下的客流情况和紧急疏散工况下的客流进行仿真模拟，通过模拟结果调整方案，形成最终的沈阳北站建筑方案。3) 通过本次对沈阳北站交通枢纽的扩建，针对扩建型交通枢纽的预留工程以及未来的扩建工程，提出相应的设计建议。对于扩建型交通枢纽应在设计初期对于预留工程进行前瞻性的设计考虑，预留足够的接口，并实现方案的包容性。扩建工程应在保证既有交通功能的基础上，首先对客流二次梳理，依据客流需求完成建筑设计。

关键词

交通枢纽，客流组织，客流流线，仿真客流模拟，交通接驳

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，在城市交通拥堵问题日渐尖锐的背景下，城市公共交通取得了长足的发展。不少城市轨道交通已初步形成网络化运营，城际铁路、公共汽车、出租车等更加发达，高铁车站也已经逐步进入城市核心区。然而，在各类交通形式的衔接与换乘上，仍存在的问题，导致各类交通方式的换乘效率偏低，以致公共交通整体的效率未达到预期。目前世界各大城市都把建立轨道交通为骨架、常规公交为网络，多种交通方式相协调的一体化公共交通作为大城市交通的发展方向与缓解城市交通拥堵问题的有效手段。因此，城市公共交通的一体化是必然趋势，同时公共交通枢纽的换乘流线设计对于提高交通枢纽的换乘效率至关重要。客流组织是整个枢纽的核心所在。对于地铁车站来讲，如何处理好地铁车站与各种客流的关系对于整个枢纽的影响较大，做好客流组织和各种客流之间的接驳是整个交通枢纽正常运行的关键。

王宝辉、刘伟杰等人定性研究归纳了铁路客站类交通枢纽在车站总体布局和内外衔接所遵循的原则和方法[1];甘勇华、邓兴栋从空间布局的角度对轨道交通枢纽各类设施空间组织与布置进行了模式分析,并对立体式布置模式的布置原则以及建设时序对模式的影响进行了探讨[2];王楠以兰州西站为例,从定性的角度分析并提出综合交通枢纽空间布局与步行系统的设计原则与方法[3]。以上定性研究主要集中于枢纽空间布局模式分析以及流线设计原则的分析,虽然提供了可以借鉴的理念和设计思路,但研究较为泛泛,缺乏深入、系统、量化的研究。相较于定性分析,定量分析的出现较晚,主要是由于综合交通枢纽具有一定的复杂性,定量研究的难度大,难以用单一的模型或是算法对其客流组织进行准确的评估。

计算机技术的发展打破了定量分析的局限,基于定量分析的数学解析模型,行人仿真客流模拟系统通过计算机语言对群体行人行为进行仿真模拟,并最终实现客流数据的分析以及客流组织的优化。吕春衫等人提出基于运动模式和元胞自动机的人员疏散模型,并以此为基础探讨了火灾环境下的人员疏散问题,并利用仿真模拟系统进行了数据的分析比对,最终实现疏散的优化[4];廖明军,孙剑,王凯英基于元胞自动机模型探讨模拟了行人排队行为并通过仿真技术研究排队系统的优化[5];徐鹏,左忠义等人基于最大熵模型对大连北站客运枢纽换乘客流进行预测[6];康浩,王昊等人借助多源大数据分析手段,实现对铁路枢纽各类客流需求的量化分析,总结出枢纽运行的规律性特征与趋势,并针对性提出了改善措施和建议[7]。可以看到,仿真系统的定量分析有效实现了综合交通枢纽客流组织各个阶段的仿真模拟研究,同时作为积极地反馈,进一步优化和完善了定量分析的数学解析模型,使得仿真模拟更加的精准,成为了综合交通枢纽的客流组织与接驳定量分析的广泛应用的技术手段。

本文首先利用传统设计方法,以地铁4号线引入沈阳北站枢纽为切入点,重新构建客流体系后,对照既有交通枢纽的功能和空间形态,在原基础上进行改造并组织地铁4号线内部流线,借助地铁4号线将换乘枢纽的功能、空间、客流流线进一步完善。引入仿真客流模拟实验,对设计方案进行仿真客流模拟,从模拟结果中发现设计方案的问题,进一步完善方案,最终实现满足未来客流需求以及特殊工况下紧急疏散的目的。

2. 沈阳北站客流组织与改建方案

2.1. 客流组织与接驳模式

沈阳北站综合交通枢纽整合了多条客运专线铁路,同时拥有沈阳地铁2号线、在建地铁4号线以及地面公交、社会车、出租车、长客等多种交通方式。图1所示为枢纽卫星图。图2所示为4号线车站地下一层平面图。



Figure 1. Satellite map of Shenyangbei Station

图 1. 沈阳北站卫星图

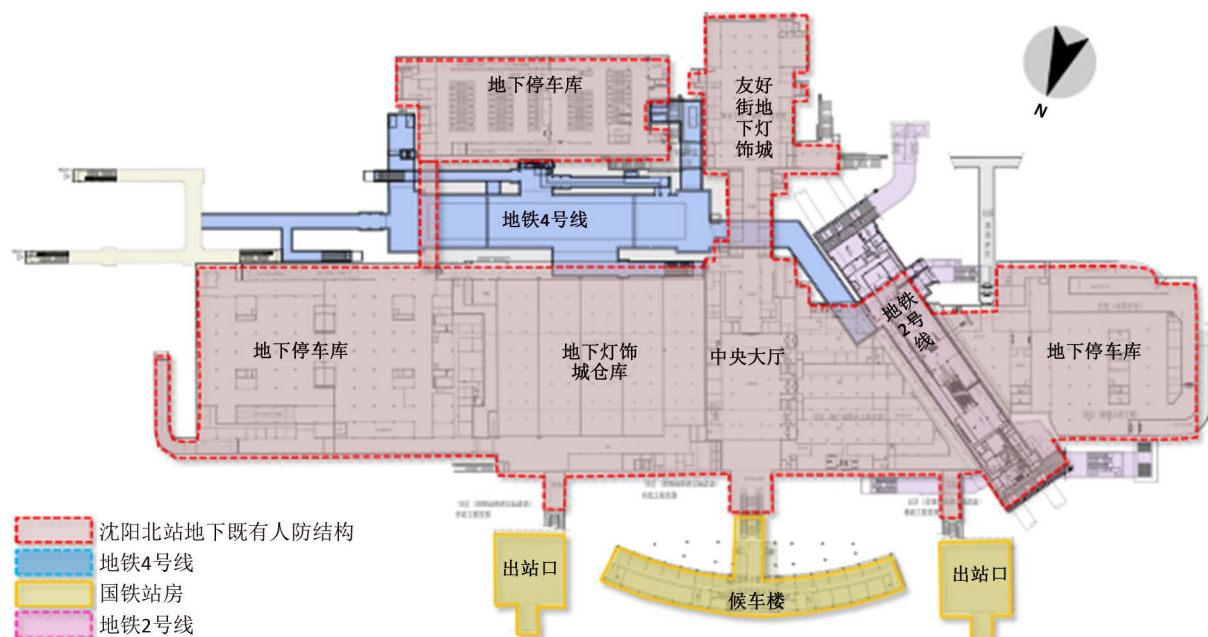


Figure 2. Planar graph of underground
图 2. 地下一层平面图

在 4 号线客流加入之后，沈阳北站客流流向较之前更加复杂，新增客流流向主要是周边既有交通、商业等设施与 4 号线沈阳北站发生双向流动关系，地铁 4 号线沈阳北站的客流流向如图 3 所示。

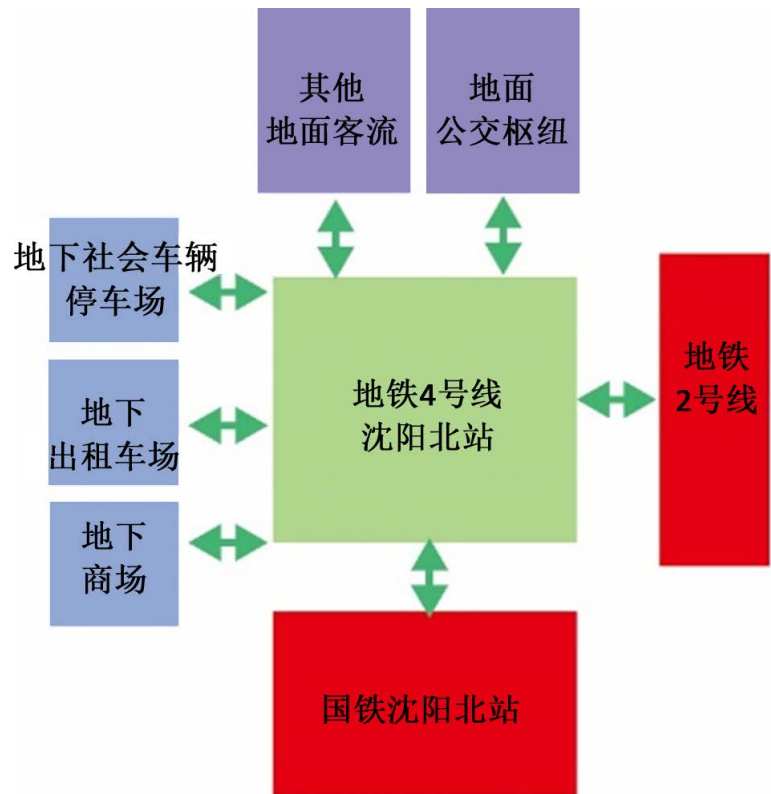


Figure 3. Passenger flow of metro line 4
图 3. 地铁 4 号线客流流向分析

引入地铁4号线后,既有“单中心”模式下的换乘大厅客流压力较大。单纯进行换乘大厅(中央大厅)扩建,虽然在一定程度上能够缓解客流量大带来的集散压力,但大体量单中心集中换乘的模式势必造成流线复杂,行人迷失感较重,运营管理难等一系列问题,在后期客流组织、交通接驳及管理运营等方面具有一定的局限性。在这种情况下,可以考虑“单中心”向“多中心”模式转变,以北站既有地下换乘厅为核心,以地铁4号线车站为切入点,重新构建地下客流组织及接驳体系,形成“多中心+横纵分流”相结合的换乘模式,通过水平向+纵向的客流分级,逐级化解客流压力,形成有效的客流组织与交通接驳体系。故采取了“一主两副”和“横纵分流”的交通接驳模式。一主是指既有的换乘大厅作为“接驳主中心”,两副是指将地铁4号线和地铁2号线的交通厅作为“接驳次中心”,如图4所示。

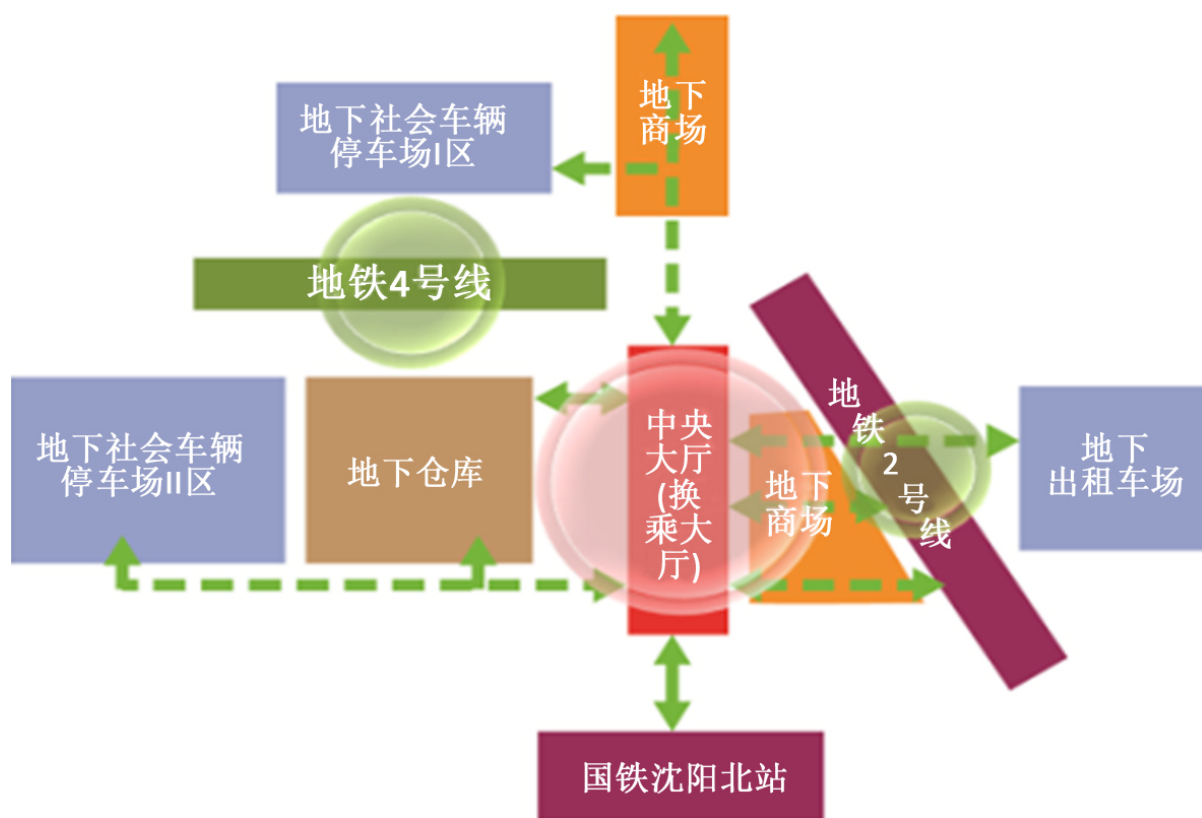


Figure 4. The transferring scheme of “one main and two secondary”

图 4. 一主两副的接驳模式

横纵分流是在地铁4号线内部纵向先将过街人流、接驳人流与乘坐地铁的人流分开,横向再进行进一步的分流,通过交通厅将乘坐地铁的人流竖向分流至站厅层,再将其他人流依据需求分流至公交枢纽、换乘大厅等。

2.2 初期方案

地铁4号线沈阳北站各层概况如下:

1) 地下一层交通厅(图5)承担沈阳北站交通枢纽“接驳次中心”功能。

地下一层交通厅承担沈阳北站交通枢纽“接驳次中心”功能,和“次中心(地铁2号线车站交通厅)”分别通过地下一层的连接通道与“主中心(换乘大厅)”连接。

客流在地铁 4 号线沈阳北站地下一层交通厅处将实现二次分化，分化后的客流纵向分为三股：流向地下二层的地铁客流；流向同层的车库、灯饰城客流；流向地面的公交、地面建筑客流。“接驳次中心”是纵横分流的交通节点，使得客流的流线关系通过纵向、横向的划分而变得更加的清晰和明确。

2) 地下二至四层承担地铁 4 号线车站功能。地下二层为站厅层(图 6)，在本层的东侧设置一组出入口直通地面广场，并与既有地下过通道相连通。同时，地铁客流在该层可以实现与地铁 2 号线车站的付费区内通道换乘；地下三层为设备层(图 7)；地下四层为站台层(图 8)，公共区设有两组扶梯(共 6 部)和无障碍垂直电梯一部。图 9 所示为地铁 4 号线沈阳北站的横剖面图。

为实现 4 号线与 2 号线在付费区换乘，需要对 2 号线站厅层进行优化改造，调整原进、出站闸机位置，使站厅层换乘通道接口位于付费区内，并对售补票亭，售票机，进出站闸机，安检机等设备的位置进行优化。图 10 为改建前后平面图。



Figure 5. Planar graph of transportation floor
图 5. 交通厅层平面图

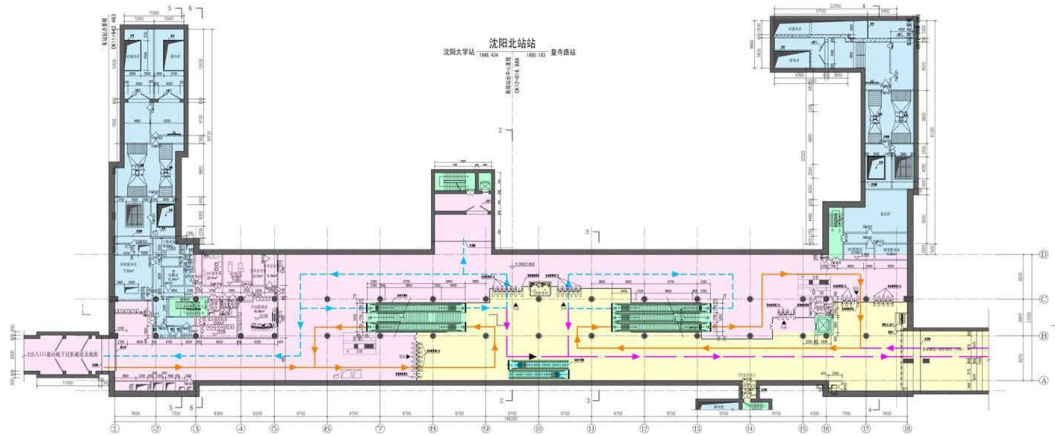


Figure 6. Planar graph of subway hall
图 6. 站厅层平面图

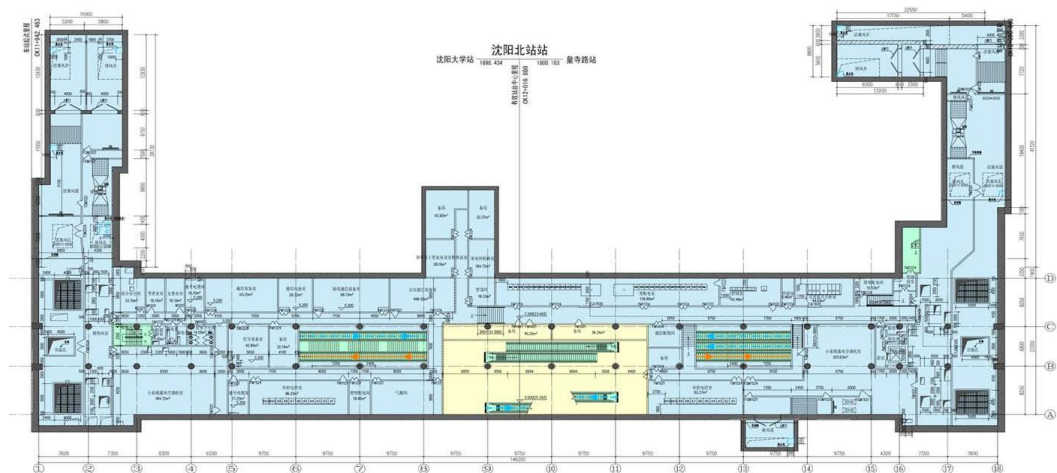


Figure 7. Planar graph of equipment floor

图 7. 设备层平面图

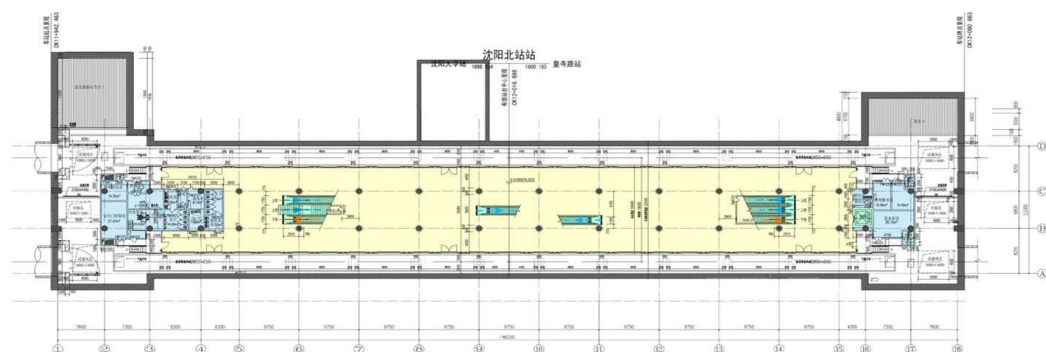


Figure 8. Planar graph of platform floor

图 8. 站台层平面图

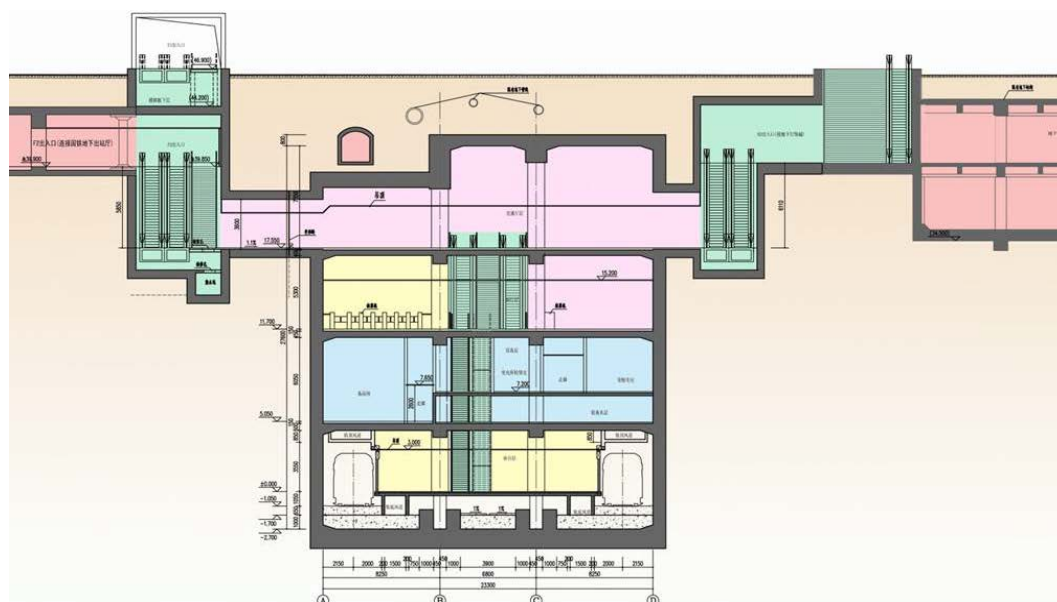


Figure 9. Transverse section

图 9. 横剖面图

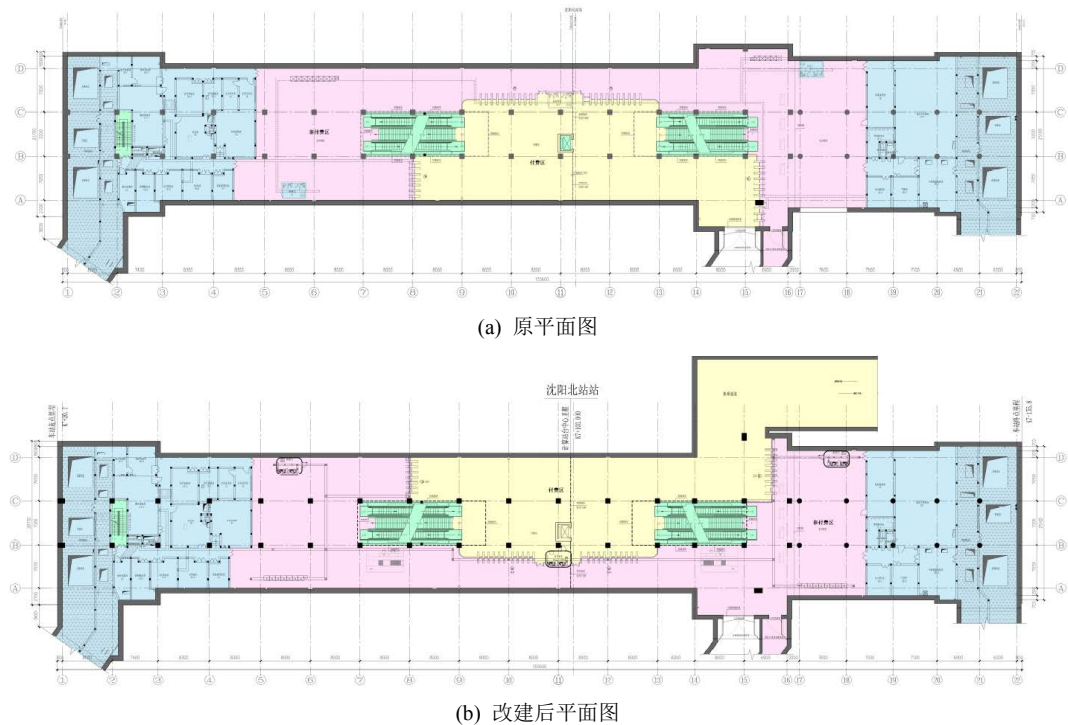


Figure 10. The subway hall of line 2
图 10. 地铁 2 号线车站站厅层

3. 仿真客流模拟实验及方案优化

3.1. 仿真客流模拟中的假设

1) 设施假设: 自动售票机的平均交易时间为 30 秒; 闸机的通过能力采用 30 人/分钟; 自动扶梯运行速度为上行 0.55 米/秒, 下行 0.5 米/秒; 自动扶梯的通过能力上行约为 110 人/分钟, 下行约为 95 人/分钟 (取值略低于中国地铁站设计的标准, 但这是通过对国内几个繁忙的地铁站点的现场观测而确定的); 单向/双向楼梯、通道的通过能力不超过相关规范的最大通过能力, 见《地铁设计规范》(GB50157-2013)。

2) 客流特征假设: 车型采用 6B 编组; 模型中选用中国通勤乘客的速度分布曲线; 火车站来向进站客流的购票比例为 30%, 其他来向进站购票比例为 10%; 过街不进入付费区穿越客流为进出站的 5%; 远期班次 30 对/小时; 客流含行李比例 10%。

3.2. 客流分析及静态计算

根据设计设计说明, 地铁 4 号线出入客流, 考虑加入 5% 的过街客流, 加入地铁 2 号线部分出入客流和超高峰系数 1.35 后, 可以得到如表 1 所示的交通需求矩阵。依照交通需求矩阵, 对初步方案的垂直设施进行静态计算(表 2), 在正常工况下超高峰客流量情况下站厅层到站台层扶梯饱和度高达 130%, 不能满足要求。在一部扶梯检修的情况下高峰客流已经达到较为饱和的状态(表 3), 且分布不均衡, 主要是下行扶梯不能满足要求。依据换乘客流, 对地铁 4 号线到地铁 2 号线换乘通道进行了静态计算, 换乘能力满足要求。

3.3. 方案优化

依据以上分析, 针对初期方案的静态计算和仿真客流模拟情况, 对初始方案进行了优化。由于既有地下换乘大厅在运营使用中, 且铁路客流较多, 因此改造可能性较小, 因此本次优化方案组要针对地铁

4 号线车站。并且地下换乘大厅由于连通地下灯饰城和既有地下餐饮等商业片区，客流集散能力尚能满足要求。

Table 1. Matrix of traffic demand

表 1. 交通需求矩阵

	4 号线上行	4 号线下行	2 号线上行	2 号线下行	E 出入口	H1 出入口	H3 出入口	F 出入口	总计
4 号线上行	0	0	1211	833	2129	2129	2129	2129	10,561
4 号线下行	0	0	2137	1079	2208	2129	2129	2129	12,049
2 号线上行	1319	266	0	0	0	0	1418	1418	4422
2 号线下行	163	1692	0	0	0	0	1418	1418	4692
E 出入口	2155	1113	0	0	0	0	127	127	3648
H1 出入口	2155	1113	0	0	127	0	127	127	3648
H3 出入口	2155	1113	1418	1418	127	127	0	127	6485
F 出入口	2155	1113	1418	1418	127	127	127	0	6485
总计	10,102	6410	6185	4718	4718	4718	7555	7555	51,990

Table 2. Vertical facilities calculation under normal condition

表 2. 正常工况下垂直设施静态计算

垂直设施方向	扶梯数量	楼梯宽度(米)	垂直通行能力 (人/小时)	高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度	超高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度
B1-B2	2	1.7	15,156	7544	50%	10,184	67%
B2-B1	2	1.7	16,776	9921	59%	13,393	80%
B2-B4	2	0.85	12,708	12231	96%	16,512	130%
B4-B2	5	0.85	32,148	16748	52%	22,610	70%

Table 3. Vertical facilities calculation under the condition of escalator maintenance

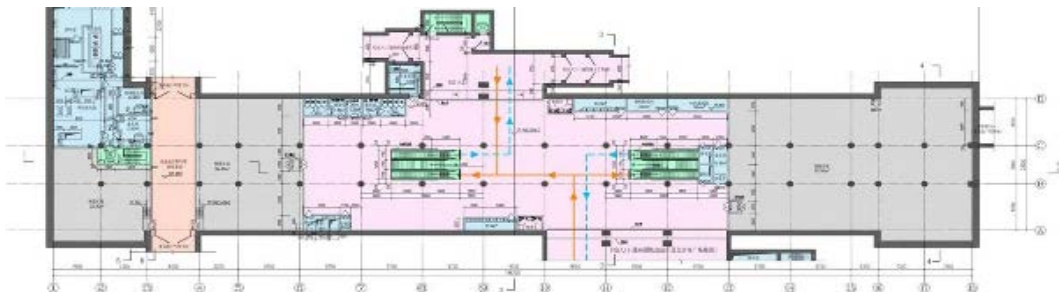
表 3. 一部扶梯检修情况下，垂直设施静态计算

垂直设施方向	扶梯数量	楼梯宽度(米)	垂直通行能力 (人/小时)	高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度	超高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度
B1-B2	1	1.7	10,026	7544	75%	10,184	102%
B2-B1	1	1.7	10836	9921	92%	13,393	124%
B2-B4	1	0.85	7578	12,231	161%	16,512	218%
B4-B2	4	0.85	26,208	16,748	64%	22,610	86%

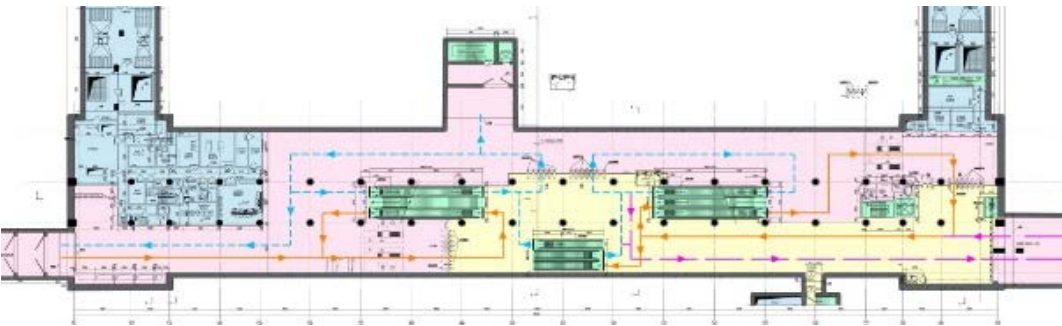
交通设施：站厅层将原有的 7 部扶梯增加为 8 部，将原有的 5 部向上、2 部向下，优化为 4 部向上、4 部向下。扶梯数量增多，且分布更加均匀。站台层扶梯口部仍然分布不均衡，但这是由于站台长度较短决定的，无法通过设计改变，后期建议运营人员增加导流设施引导乘客到通过站台中部扶梯出站。闸机：将原有站厅层右端处垂直电梯与扶梯中间的闸机取消，增加缓冲区域，避免人流冲突。安检机：将原有的两部安检机增加为 4 部，提升通过能力，避免其成为进站客流瓶颈(表 4)。优化后地铁 4 号线沈阳北站新方案各层如图 11 所示。

Table 4. Vertical facilities calculation of optimized scheme
表 4. 优化后方案垂直设施静态计算

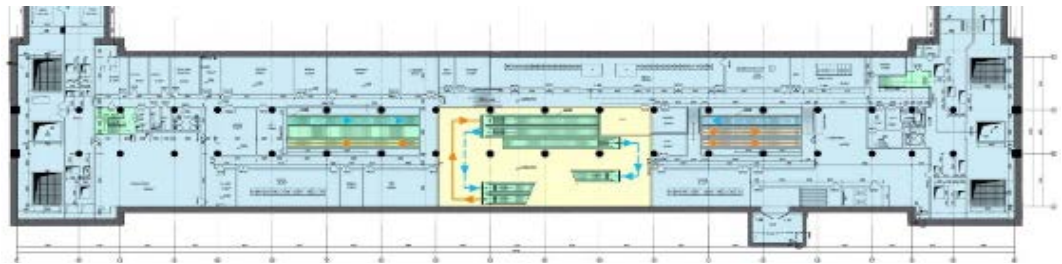
垂直设施方向	扶梯数量	楼梯宽度(米)	垂直通行能力 (人/小时)	高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度	超高峰客流量 (人/小时)	扶梯饱和度
B1-B2	2	1.7	15,156	7544	50%	10,184	67%
B2-B1	2	1.7	16,776	9921	59%	13,393	80%
B2-B4	4	0.85	26,208	12231	47%	16,512	63%
B4-B2	4	0.85	26,208	16748	64%	22,610	87%



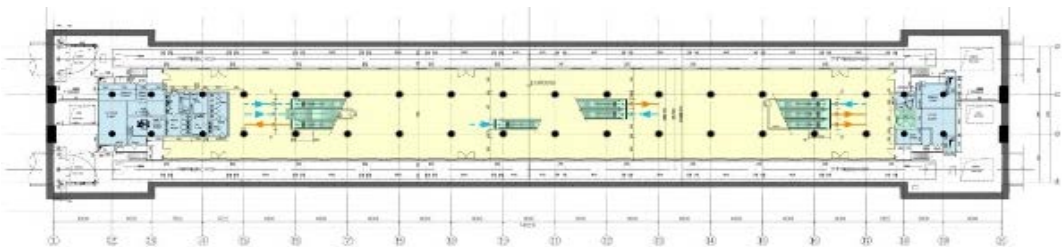
(a) 交通厅层平面图



(b) 站厅层平面图



(c) 设备层平面图



(d) 站台层平面图

Figure 11. Planar graph of each floor after the optimization
图 11. 优化后各层平面图

3.4. 优化方案仿真客流模拟模型分析

用的分析指标体系为：最高密度、平均密度、空间使用率、换乘时间、重要的楼扶梯流率、设施的能力及分布、行走路线与交织状况、紧急疏散时间图。图 12 展示了部分仿真模拟分析结果云图。

1) 交通厅超高峰小时模型成果及分析。交通厅 - 换乘大厅层通过优化后，模型显示人流密度较为合理，平均密度下拥挤度较低，走行环境较为宽松，最大密度下仅有个别点位密度达到最高级，空间使用较为宽裕且比较均衡。2) 站厅层超高峰小时模型成果及分析。站厅层通过优化后，模型显示人流密度比原方案合理，平均密度下拥挤度适中，仅在右侧扶梯口部出现小面积拥堵，最大密度下在每个楼扶梯口部均出现最高级且全部空间内较为拥堵，空间使用较为宽裕且使用均衡。3) 设备层超高峰小时模型成果及分析。设备层转换空间在平均密度时拥挤度较低，扶梯口部出现小面积拥堵，最大密度时出现大面积拥堵，但基本能满足要求，空间较为宽裕。4) 站台层超高峰小时模型成果及分析。站台层通过优化后，模型显示人流密度比原方案合理，能够完成客流仿真模拟全过程。平均密度下在站台门附近拥挤度较高，楼扶梯口部小面积拥堵，最大密度下站台层拥堵度基本全部为最高级，但能够完成客流集散。空间使用较为均衡。

此外，考虑到实际情况一般比计算情况更为复杂，因此利用模型进行紧急疏散测试。4 号线紧急疏散工况下，依据仿真模拟结果，站台层，自事故发生时刻起，乘客清空时间在 4.5 min 以内。转换层，自事故发生时刻起，乘客清空时间在 5.5 min 以内。站厅层，所有乘客离开站厅层的时间在 7 min 以内。交通厅层，所有乘客自事故发生时刻起，到达最近出口的时间在 8 min 以内。

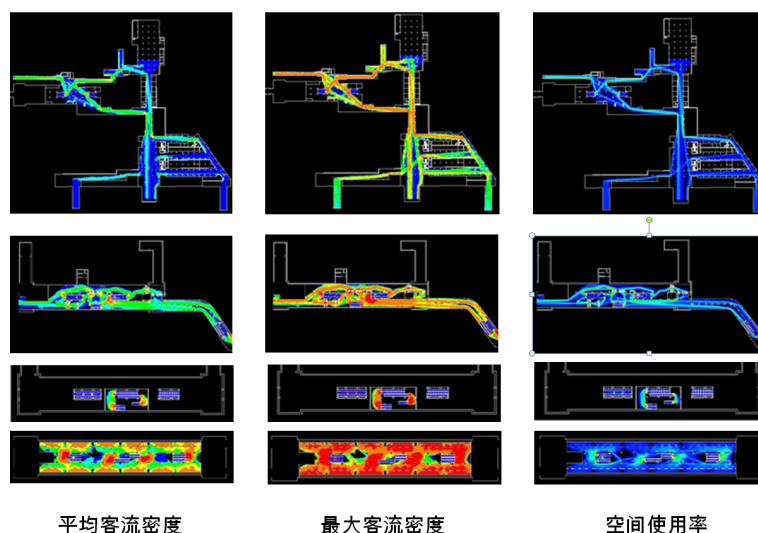


Figure 12. Simulation result of passenger flow
图 12. 各层仿真客流模拟结果

通过对 4 号线沈阳北站的交通层、站厅层、转换层、站台层及与 2 号线的换乘通道开展的静态计算与动态仿真行人研究。发现在远期超高峰客流条件下，初步方案设计存在较大的运营压力，经过调整优化，方案有了明显的改善，整体服务水平提升。紧急疏散工况下，站台层 4 分 25 秒可清空(满足规范要求)，站厅层(付费区)需要 6 分钟，满足规范要求。

4. 设计流程

根据上述内容将整体的设计过程总结如下：

1) 既有客流关系梳理。

- 2) 新增客流流线类型梳理。
- 3) 新增客流流量分析。
- 4) 确定客流组织模式(平面、立体、纵横分流——根据枢纽的性质和规模进行相应模式的选择)。
- 5) 落实流线与空间的关系(流线的拆分与组合、客流组织体系的研究、化整为零处理空间、空间接驳体系的形成)。
- 6) 设计客流组织方案(多方案比选)。
- 7) 客流仿真模拟分析。
- 8) 客流组织, 方案优化(返回客流仿真模拟分析, 直至方案最佳)。

5. 结论

本文以沈阳地铁4号线沈阳北站为例,详细阐述了既有扩建型交通枢纽客流组织与接驳的设计及优化流程与方法,并通过客流模拟仿真实验的研究过程以仿真为核心,结合静态计算和动态模拟,通过对客流的细分实现对研究对象平面布局、设施能力、动线安排和紧急疏散等项目的评价与优化,并得出以下结论:

- 1) 通过进行客流模拟仿真实验研究发现,超高峰客流条件下初期原始方案存在较大运营压力,优化设计后通过增加通行设施、调整分布使其均匀并扩大缓冲区域,方案得到很大改善;
- 2) 结合不同交通形式所重新构建的“多中心”模式客流组合和接驳体系,相比“单中心”模式,更加有利于客流压力的逐级化解,能够有效地缓解运营压力;
- 3) 对既有扩建型交通枢纽的设计及优化可以通过进行客流模拟仿真实验来实现。通过模拟车站在不同工况下的客流动态演变,分析车站的空间布局合理性,验证方案可行性,探讨布局存在的问题和优化的方向,从而实现方案最终优化。

参考文献

- [1] 王宝辉,刘伟杰,徐一峰,刘琪,张涛.铁路客站交通枢纽总体布局与内外衔接设计[J].中国市政工程,2009(5): 73-74+77.
- [2] 甘勇华,邓兴栋.轨道交通枢纽综合开发设施立体式布置模式分析[J].城市轨道交通,2011,14(8): 17-19.
- [3] 王楠.大型综合交通枢纽地下空间功能布局及步行系统设计——以兰州西站综合交通枢纽为例[J].建筑结构,2015,10(45): 10-14.
- [4] 吕春衫,翁文国,杨锐,申世飞,袁宏永.基于运动模式和元胞自动机的火灾环境下人员疏散模型[J].清华大学学报,2007,47(12): 2158-2162.
- [5] 廖明军,孙剑,王凯英.基于元胞自动机模型的行人排队行为模拟[J].交通运输系统工程与信息,2009,9(3): 140-145.
- [6] 徐鹏,左忠义,白妍.基于最大熵模型的大连北站客运枢纽换乘客流预测[J].大连交通大学学报,2018,39(1): 1-6.
- [7] 康浩,王昊,赖建辉,伍速锋.基于多源大数据的北京铁路枢纽客流特征研究[J].交通工程,2019,19(2): 7-12+24.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org