

基于大数据的轨道车厢及站台站厅拥挤度精细化评估

谢明隆 李智

【摘要】随着国内各大城市进入轨道网络化运营时代，部分轨道线路已趋于超负荷运转状态，其实际载客量远远大于额定载客量，尤其在早晚高峰时更是拥挤不堪，给城市轨道交通的运营带来了一定的安全隐患，因此有必要对现状轨道拥挤情况进行系统的定量评估。本文旨在通过轨道运营票务数据及轨道发车时刻表数据等大数据，建立轨道车厢内及站台站厅拥挤度的快速、科学、准确的定量评估方法，为轨道站台设计及运营组织提供重要的数据支撑。

【关键词】轨道车厢拥挤度；轨道站台拥挤度；定量评估

1 引言

2014 年末，我国累计有 22 个城市建成投运城轨线路 94 条，运营里程 2886 公里。随着城市道路交通拥堵日益严重，以及城市轨道交通网络的逐步完善，轨道交通的乘客将会逐年增多。城市轨道交通因其运量大、速度快、安全准点和舒适便捷等优势吸引着大量的客流。随着近几年轨道的高速发展，国内很多交通线路已趋于超负荷运转状态，其实际载客率远远大于额定量，尤其在早晚高峰时更是拥挤不堪，给城市轨道交通的运营带来了一定的安全隐患，因此如何进行安全预警，高效、科学、精确的评价轨道拥挤程度显得十分重要。

现阶段我国大多城市重视轨道规划阶段的客流预测及现状客流断面特征分析等，对于车厢拥挤度及站台站厅拥挤度定量评估研究不足。通过轨道拥挤度评估能加强轨道前期规划指导，利用仿真分析能对工可阶段站内布局设计进行改善，有利于提前消除站台及站台步行拥堵点。同时应用科学高效的定量化评估分析手段，能再现车厢内拥挤状况，便于优化运营组织及管理，以实行分时灵活的票价机制，引导通勤人员错峰出行。城市轨道交通运营部门可对客流量过大的车站进行适当的限流，并根据拥挤度调整发车频率，从一定程度上减小每趟列车在高峰小时内的拥挤度，提高服务质量。此外，在加强轨道出行安全素质教育的同时，通过评估预警，遇到突发事件时及时有效应对，避免恐慌心理的出现和扩散，进而引起人群的心理不稳，进而引发更大的骚乱。因此，利用轨道大数据平台，科学、有效地对轨道车厢内及轨道站台站厅进行拥挤度评估具有十分重要的意义。

2 轨道服务水平评价指标

2.1 轨道服务水平评价指标

进入城市轨道交通快速发展时期，人们对城市轨道交通服务水平提出了较高的要求。乘客对轨道出行选择不再单一考虑票价，而将乘车时间、舒适度、乘车拥挤延误时间和换乘排队时间等因素都考虑在内。深圳市评价轨道服务质量的指标主要包括安全保障、环境卫生、车容车况、信息服务、设施保障、准点情况、换乘质量、等候时间、拥挤程度等。各轨道线路在安全保障、环境卫生、车容车况、信息服务、设施保障、准点情况、换乘质量等方面服务指数较好，而等候时间、拥挤程度服务指数较低，拥挤程度成为制约轨道交通服务水平提高的关键因素。本文将选取轨道拥挤程度指标进行重点研究及评估。

表 1 深圳市 2013 年第四季度轨道交通服务指数

线路名称	综合评分		安全保障	环境卫生	车容车况	信息服务	设施保障	准点情况	换乘质量	等候时间	拥挤程度
	本期	同上期相比									
蛇口线	87	-0.7	100	100	100	97.4	96.3	98.9	87	75.2	69.8
罗宝线	85.3	-0.1	100	100	100	98.4	94.8	89.6	84.9	81.8	63.9
环中线	81.1	-5.4	100	100	100	98.8	91.9	97.6	76.7	65.7	57.8
龙岗线	80.9	-5.2	100	100	100	99	95.2	94.9	81.1	67.2	53.2
龙华线	78.5	-3.3	100	100	100	99.1	94.3	93.6	80.7	66.2	44.2

注：数据来源深圳市交通运输委员会官网。

2.2 轨道拥挤度

轨道拥挤程度主要包括车厢内和站台站厅拥挤程度，列车内和站台的拥挤程度直接与路段上列车能容纳的最大乘客数、客流量以及站台容量相关。

(1) 轨道车厢拥挤度

轨道交通车辆定员，是设计车厢内座席率和立席密度的标准。立席的密度是关系到乘客舒适度和拥挤度的标准，而拥挤度又涉及其评价标准^[1]。我国现有轨道车厢内拥挤度评价指标主要包括车厢立席密度、车厢载客率，大部分城市以车内站席 6 人/m²作为轨道定员标准。

表 2 车内乘客站立人员密度评价标准

站席密度 (人/m ²)	乘客拥挤情况	评价标准		
		中国	日本	俄罗斯
3 以下	乘客可以自由流动,十分宽松	舒适	舒适	好
4	平均每位乘客占有 0.5m × 0.5m 的空间,有较大宽松度,乘客可以看书报	良好	正常	好
5	平均每位乘客占有 0.5m × 0.4m 的空间,有一定宽松度,部分乘客可以看书报	良好	正常	好
6 (AW ₂)	平均每位乘客占有 0.5m × 0.33m 的空间,感到不宽松、不拥挤,稍可活动,是舒适度的临界状态	临界状态 (定员标准)	中间状态	好
7	平均每位乘客占有 0.47m × 0.3m 的空间,感到有些拥挤,站席范围有些突破	有些拥挤	可接受	一般
8	平均每位乘客占有 0.42m × 0.3m 的空间,身体有接触,需错位排列,并突破站席范围,感到比较拥挤	比较拥挤	可接受	一般
9 (AW ₃)	平均每人占有的空间非常拥挤,需突破站席范围,挤入座区,此情况偶有可能出现(车辆制造强度必须满足)	非常拥挤 (超员标准)	非常拥挤	不好
10	需突破站席范围,挤入座区,极为拥挤,难以忍受,影响上下车行为和总时间,属极端情况	难以忍受	极为拥挤	不好

香港轨道在评价拥挤度时,分别根据设计可载客量和实际可载客量,对高峰小时单向每平方米站立六人载客率进行评价,同时也对高峰小时单向每平方米站立四人实际载客率进行评价。

表 3 香港轨道车厢载客率(2013 年,早上繁忙时段每小时最繁忙路段单向)

序号	指标参数	部分路段共用路										
		东铁线	西铁线	马鞍山线	将军澳线	港岛线	观塘线	荃湾线	迪士尼线	轨		
											东涌线	机场快线
1	设计可载客量(每平方米站立六人)(a)	101,000	64,000	32,000	85,000	85,000	85,000	85,000	10,800	45,000	6,400	
2	最高列车班次下的最高可载客量(每平方米站立六人)(b)	90,000	51,500	30,500	67,500	80,000	71,400	75,000	9,600	45,000	4,800	
3	现有可载客量(每平方米站立六人)(c)	82,500	49,200	26,800	62,500	80,000	71,400	75,000	9,600	37,500	4,800	
4	(a)项与(b)项之间的差异(注1)	11,000	12,500	1,500	17,500	5,000	13,600	10,000	1,200	0	1,600	
5	(b)项与(c)项之间的差异(注2)	7,500	2,300	3,700	5,000	0	0	0	0	7,500	0	
6	现时乘客量(d)	58,700	34,600	15,200	44,800	52,900	47,600	52,300	2,400	22,400	2,200	
7	现时载客率(1)(每平方米站立六人)[(d)/(c)](以最繁忙路段)	71% {大围至九龙塘}	70% {锦上路至荃湾西}	57% {车公庙至大围}	72% {油塘至鲗鱼涌}	66% {天后至铜锣湾}	67% {石硤尾至太子}	70% {尖沙咀至金钟}	25% {欣澳至迪士尼}	60% {奥运至九龙}	46% {机场至青衣}	
8	现时载客率(2)(每平方米站立四人)[(d)/(c)÷71.2%(注3)](以第(7)项所指的最繁忙路段计算)	100%	99%	80%	101%	93%	94.00%	98%	35%	84%	54%	
9	现时载客率(3)(每平方米站立六人)[(d)/(a)](以第(7)项所指的最繁忙路段计算)	58%	54%	48%	53%	62%	56%	62%	22%	50%	34%	

注 1: 差异原因包括(a)月台幕门及自动月台闸门令列车在每个车站停留在月台的时间延长了约 10 秒; (b)东铁线部分路轨须由本地列车及跨境列车

共用；以及(c)自2009年西铁线延伸至红磡站，增长了东铁线及西铁线列车掉头时间。

注2：差异原因是由于服务班次尚未增至讯号系统可负荷的最高水平。

注3：以一列行走市区的重型铁路列车为例，一列列车可提供340个座位及以每平方米站立六人的乘客密度计算时提供2,160个站位，即每列列车的总可载客量为约2,500人。以每平方米站立四人的乘客密度计算时，340个座位数目会维持不变，但站位则会减至1,440个，即每列列车的总可载客量为约1,780个。因此，以每平方米站立四人的乘客密度计算的可载客量相当于以每平方米站立六人计算时的71.2%（机场快线则为85%）。

随着深圳市轨道龙华线首两列六节编组列车正式投入运营，龙华线运能得到极大提升，梅林关早晚高峰道路拥挤程度有所改善。但由于深圳市通勤刚性出行旺盛，现状各轨道线路高峰时段车厢满载率仍处于较高水平。在深圳机动车限购政策出台后，如何提高轨道出行服务质量显得尤为重要。

表4 深圳市轨道高峰小时单向满载率

线路名称	高峰小时最大断面客流量 (人次)	现状高峰小时断面最大运能 (人次)	载客率
罗宝线	32026	37200	86%
蛇口线	13195	18600	71%
龙岗线	27698	30000	92%
龙华线	35868	37200	96%
环中线	16667	22320	75%

(2) 轨道站台拥挤度

站台是城市轨道交通最重要的基础设施，是乘客上下客和候车的主要场所。过小的站台宽度限制了站台的乘客容纳能力，过宽的站台则经济效益不高。在车站设计中，需尽可能准确地进行客流预测对站台宽度进行合理设计。我国《地铁设计规范》中仅规定可各类型车站站台的最小宽度尺寸，在地铁工可及详细设计阶段，工程技术人员一般根据客流预测结果，结合工作经验对站台宽度进行定性设计，难以满足现阶段精细化设计要求。由于站台行走区域与人行道具有相同特性，这里直接采用通行能力手册中人行通道的服务水平分析。

表5 HCM2000 中人行道通行服务水平等级划分标准

等级	人行道		排队区域
	人均空间 (m ² /p)	流率 (p/min/m)	人均空间 (m ² /p)
A	>5.6	≤16	>1.2
B	3.7-5.6	16-23	0.9-1.2
C	2.2-3.7	23-33	0.6-0.9
D	1.4-2.2	33-49	0.3-0.6
E	0.75-1.4	49-75	0.2-0.3
F	≤0.75	不定	≤0.2

2.3 拥挤度评价方法

传统拥挤度调查主要基于视频录像或人工调查，或利用高峰小时刷卡数据进行轨道网络客流分配，拥挤度评价研究周期较长，难以快速响应不同项目的规划及设计需求，且服务水

平评估受调查质量制约，普遍精细化程度不高。

不同于传统的主观感受及人工调查法，本文旨在利用轨道刷卡数据及轨道发车时刻表数据对车厢内和站台拥挤程度进行精细化定量评估，科学、高效的定量化评估轨道拥挤程度。利用现有票务数据，应用 VISUM 及 LEGION 等交通仿真软件，精细化模拟每列车辆及车站站台、站厅拥挤程度，评价方法具有一定的推广作用。

3 轨道拥挤度定量分析技术

现状国内城市轨道交通客流预测除个别线路外，均开展了相关的轨道交通客流预测分析工作，但轨道工可及轨道详细设计等研究对于轨道客流预测结果的分析及应用仅停留在表面。车辆运行组织、站台楼梯及站厅层设计等，多基于设计人员主观定性判断，通过车厢拥挤度及站台站厅拥挤度评估，能反思规划设计成果，便于指导远期轨道线路设计及现状运营组织工作。

3.1 轨道数据说明

城市轨道交通是一个种类繁多的大系统，是运营指挥、企业管理、服务乘客和传递各种信息的网络平台，其中先进的轨道票务系统为拥挤度定量化评估提供了便利。通过乘客进出站刷卡数据、刷卡闸机编号，能精确定位不同乘客进出站地点及时间，结合不同站点轨道进出站刷卡及线路发车时刻表数据，能精确模拟乘客进出站及上下客行为，使得精细化评估车厢内及站台拥挤度成为可能。

轨道刷卡数据完整记录乘客一次轨道出行的刷卡卡号、进站闸机编号、进站时间、出站闸机编号、出站时间。由于所有乘客进出轨道站均需要进行刷卡，可通过乘客前后两次进出站刷卡卡号、交易类型、交易地点及时间数据进行关联匹配，并结合闸机编码对照表，能掌握轨道乘客一次轨道出行的 OD。

表 6 轨道刷卡数据及闸机对照表

CARDID	TRADETYPE	TRADEDATE	TradeAddress	NAME	代码转换关系
20000556	22	2014-5-7 18:02:27	261003105	大剧院	268004
20000667	21	2014-5-7 18:34:35	261012157	科学馆	268005
20000667	22	2014-5-7 18:54:41	261018105	华强路	268006
20000688	21	2014-5-7 8:33:36	262015104	岗厦	268007
20000688	22	2014-5-7 8:51:30	262019118	会展中心	268008
20000688	21	2014-5-7 18:20:10	262019115	购物公园	268009
20000688	22	2014-5-7 18:32:40	262015106	香蜜湖	268011
20000715	21	2014-5-7 8:03:17	263033101	车公庙	268012
20000715	22	2014-5-7 8:48:51	268012116	竹子林	268013
20000715	21	2014-5-7 18:19:32	268012112	侨城东	268014
20000715	22	2014-5-7 19:02:19	263033104	华侨城	268015
20000751	21	2014-5-7 14:08:58	260029102	世界之窗	268016
20000751	22	2014-5-7 14:34:54	260037115	白石洲	268022
20000751	21	2014-5-7 18:05:01	260037111	高新园	268023
20000751	22	2014-5-7 18:29:47	260029105	深大	268024
20000897	21	2014-5-7 19:10:32	268002127	桃园	268025
20000897	22	2014-5-7 19:30:47	268018107	大新	268026
20000897	21	2014-5-7 22:24:32	268018111	鲤鱼门	268027
20000897	22	2014-5-7 22:55:35	268002124	前海湾	268028
20000983	21	2014-5-7 18:19:51	261012105		

刷卡及闸机字段说明：CARDID——轨道刷卡卡号；TRADETYPE——交易类型，21 为轨道进站，22 为轨道出站；TRADEDATE——交易时间；TradeAddress——交易地点，轨道站闸机编码，编码前六位为对应轨道站编码；NAME——轨道站名称；代码转换关系——轨道站对应编码。

在获取轨道乘客出行 OD 后，分析统计高峰小时每半分钟或每分钟刷卡数据，通过聚类分析，结合轨道站内步行时间及等候时间，可反推乘客实际上下车时间，基于 VISUM 发车时刻表分配模型及 LEGION 行人仿真模型，能模拟轨道出行行为，精细化评估轨道车厢内及站台拥挤度。

轨道站高峰小时进站客流时间波动性较小，一般呈现为连续流。以深圳市香蜜湖站为例，高峰小时平均每分钟进站人数 34 人，各分钟进站人数在 19 人至 69 人之间。通过刷卡闸机编号匹配，能够获取每个轨道入口的进站人流数及时间分布。通过行人步行行为特征研究（人员构成、步行速度等）、进站闸机排队时间、手扶梯及楼梯移动速度、轨道站内设施布局、车辆到达时间分布等，可推算乘客上车时间，再现模拟乘客进站上车行为。

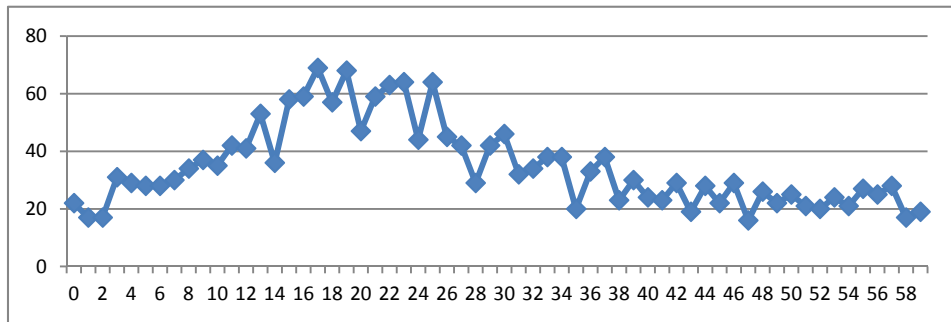


图 1 深圳市香蜜湖站高峰小时进站刷卡数

轨道站高峰小时出站客流时间随轨道发车间隔呈明显的波动性。通过刷卡闸机编号匹配，能够获取每个轨道出口的出站人流数及时间分布。通过车辆到达时间分布、行人步行行为特征研究（人员构成、步行速度等）、出站闸机排队时间、手扶梯及楼梯移动速度、轨道站内设施布局等，可推算乘客下车时间，再现模拟乘客下车出站行为。

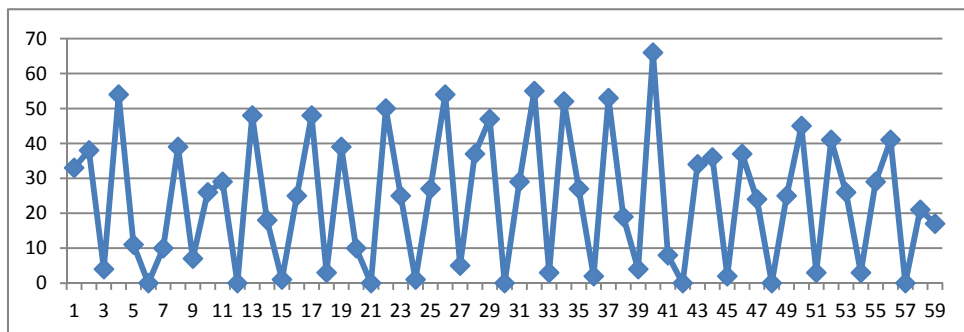
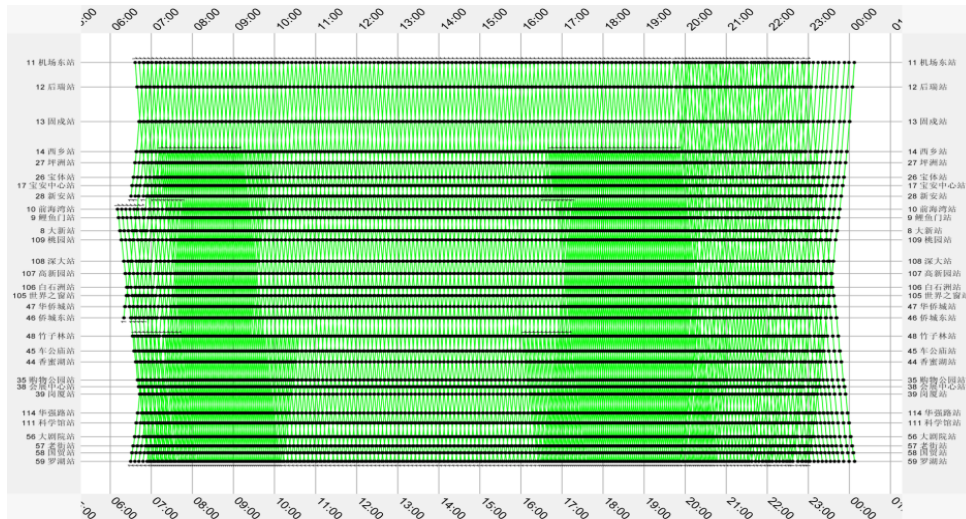


图 2 深圳市香蜜湖站高峰小时出站刷卡数



注：基于数据保密原因，将时刻表格式进行适当转化处理。

图 3 轨道发车时刻表（分钟）

3.2 轨道车厢拥挤度分析

常规车厢拥挤度评估主要通过人工调查法或基于高峰小时客流分配模型，难以精细化评估每一辆列车的服务水平。利用 VISUM 建立轨道发车时刻表基础模型，利用轨道进站刷卡数据，推算各站点乘客实际上车时间及人数，建立精细化轨道出行 OD 矩阵，可实现每列车车厢拥挤度评估。

通过进站刷卡时间分布、轨道站行人步行特征研究，结合不同站点站厅、站台平面设计及手扶梯、楼梯设置，合理推算乘客步行至轨道站台等候区时间，获取精细化轨道出行 OD。

$$T_1 = T_2 + T_3 + T_4$$

T_1 : 轨道乘客实际上车时间

T_2 : 轨道乘客刷卡进站时间

T_3 : 轨道站厅、楼梯、站内步行总时间

T_4 : 乘客平均等车时间

在此基础上根据乘客到达站台时间分布，结合发车时刻表分配模型，获取高峰小时每辆列车乘客数，进一步分析轨道线路不同区段车厢内拥挤度，用于指导优化各条线路运营组织及站点客流组织。

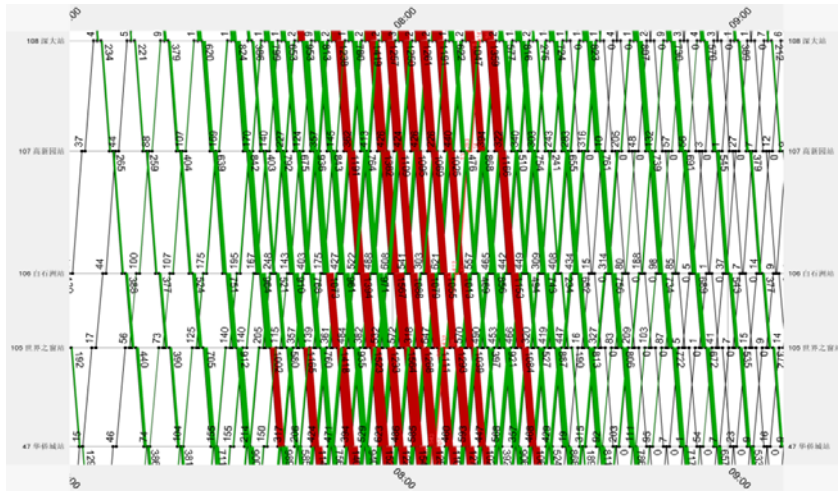


图 4 深圳市罗宝线高峰小时班次乘客量

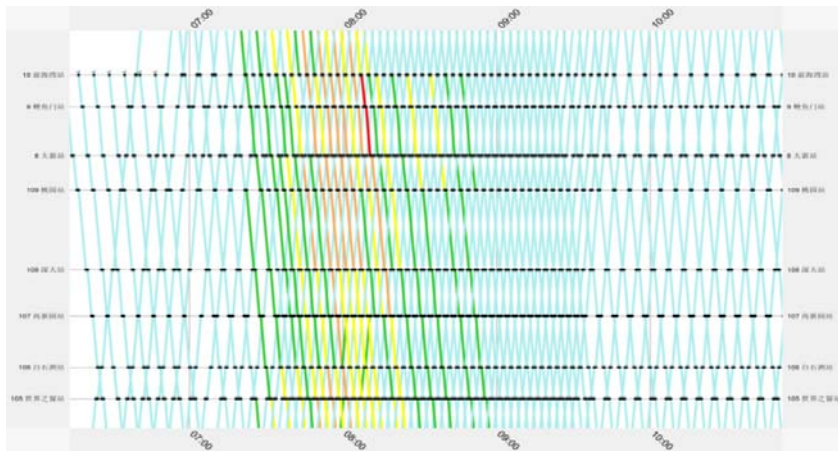


图 5 深圳市罗宝线高峰小时车厢内拥挤度

通过车厢内定量化拥挤度评估，识别不同方向、不同车次、不同时段、不同区段的车厢内拥挤情况，结合轨道客流特征分析，有针对性指导站点限流及分流策略，有利于提高轨道整体效能和服务水平。

3.3 轨道站台站厅拥挤度分析

出于隐私保密及部门数据共享难等外部因素限制，研究机构难以长期动态获取轨道站监控视频数据，常规站台拥挤度调查多通过人工调查法进行，需要的人力物力较大，且难以跟踪调查行人步行全程，对于站台、楼梯、站厅层拥挤度分析难度较大。本文通过建立 LEGION 行人仿真模型，仅以站台及站厅层拥挤度分析为例，评估轨道站内行人步行速度及密度。

通过轨道进站及出站刷卡时间的聚类分析，模拟轨道乘客上下车、刷卡进出站、上下楼梯及手扶梯的步行行为，结合轨道发车时刻表，能精细化模拟轨道站行人步行及排队等候行为，利用轨道站内平面图及行人仿真 LEGION 建模，评价任意时刻、任意地点轨道站台及站厅层拥挤度。

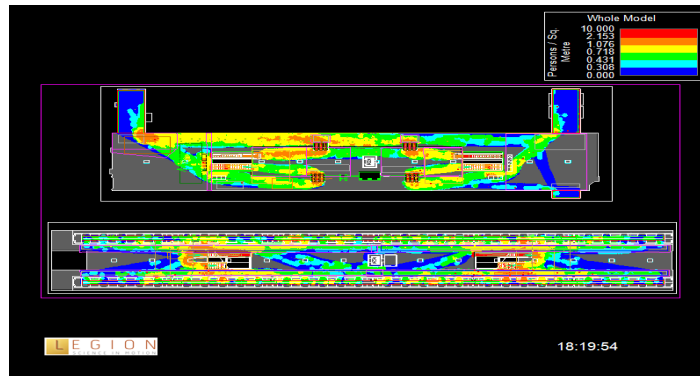


图 6 深圳市香蜜湖站高峰小时站台及站厅拥挤度

在站台详细设计阶段，结合轨道客流、站台设计平面图等成果，应用 LEGION 行人仿真软件数据分析功能进行站台站厅拥挤度分析，提前识别站台站厅层主要拥堵区域，进行拥堵成因分析，有利于针对性优化站台设计方案，提高精细化设计程度，避免过度建设，节约建设及运营成本。在后期运营组织及管理中，通过拥挤度评估，可采取适当的疏散及管控措施，优化行人组织流向，通过合理的行人组织及排队管理，能提高行人效率及服务质量，降低站内拥挤踩踏事故风险。

4 结语

出行高峰期轨道快速、准点、大运量的特点不可避免的会引起一定程度的拥堵，如何改善服务质量，适当降低拥挤程度，有利于进一步提高公交竞争力，因此快速、定量评估轨道交通拥挤度变得越来越重要。本文中通过轨道进出站刷卡、发车时刻表等数据，应用交通仿真软件，建立快速评估车厢及站台站厅拥挤度方法，为指导轨道站台设计、轨道运营组织提高定量数据支持，具有一定的借鉴意义。

【参考文献】

- [1] 沈景炎，关于车辆定员与拥挤度的探析[J]，都市快轨交通，2007.10(20).
- [2] 道路通行能力手册 KCM2000.人民交通出版社[M]，2000.
- [3] 李三兵，城市轨道交通车站客流特征与服务设施的关系研究[D]，2009.
- [4] 王久亮，城市轨道交通车站设施设备服务水平分级与能力计算方法研究[D]，2011.
- [5] 毕丹妮，考虑拥挤费用条件下的轨道交通客流分配模型[J]，河南科技，2012.6(20).
- [6] 朱竞争，基于客流特征的轨道换乘站换乘设施服务水平研究[D]，2012.
- [7] 张海丽，城市轨道交通车站乘客通行服务水平的仿真评价研究[D]，2011.

【作者简介】

谢明隆，男，硕士，深圳市规划国土发展研究中心综合交通所，规划师，工程师。电子邮箱：114243401@qq.com