

基于 AnyLogic 城市轨道交通突发大客流仿真分析

林程杰 詹朝强 杨滔

福州地铁集团有限公司运营事业部, 中国·福建 福州 350018

摘要: 近年来,城市轨道交通因其强大的运输能力和高速便捷性,逐渐成为市民日常出行的首选公共交通工具。然而,随着客流量的持续增长,车站内的客流拥挤现象已成为轨道交通运营中的主要安全隐患。在车站运输能力接近饱和时,合理地控制客流是缓解拥挤状况和降低安全风险的有效措施。但是客流控制的实施时机、方法及终止时间往往依赖于工作人员的主观判断,这可能导致对车站整体状况的管理不够精确。因此,利用 AnyLogic 仿真软件构建车站的仿真模型,针对突发大客流情况,设计出相应的客流控制方案变得尤为重要。

关键词: 轨道交通; AnyLogic; 突发大客流

Simulation Analysis of Sudden Large Passenger Flow in Urban Rail Transit based on AnyLogic

Chengjie Lin Chaoqiang Zhan Tao Yang

Fuzhou Metro Group Co., Ltd. Operations Division, Fuzhou, Fujian, 350018, China

Abstract: In recent years, urban rail transit has gradually become the preferred public transportation for citizens' daily travel due to its strong transportation capacity and high-speed convenience. However, with the continuous growth of passenger flow, the phenomenon of passenger congestion in stations has become a major safety hazard in rail transit operations. Reasonable control of passenger flow is an effective measure to alleviate congestion and reduce safety risks when the transportation capacity of the station approaches saturation. However, the timing, methods, and termination time of passenger flow control often depend on the subjective judgment of staff, which may lead to inaccurate management of the overall situation of the station. Therefore, it is particularly important to use AnyLogic simulation software to construct a simulation model of the station and design corresponding passenger flow control schemes for sudden large passenger flow situations.

Keywords: rail transit; AnyLogic; sudden large passenger flow

0 前言

AnyLogic 是一款在离散事件模拟、系统动力学、多智能体建模等领域具有广泛应用的软件。该软件由俄罗斯的 XJTechnologies 公司开发,其建模技术均基于 Java、UML-RT 和微分方程等先进技术构建。开发者利用这些复杂系统,使得 AnyLogic 成为目前唯一能够创建真实动态模型的可视化工具。

以上海地铁 1 号线莘庄站为例,开展仿真研究,模拟在 1 号线线路上,由于设施设备突发故障,导致列车运行受阻,无法正常服务的情境。在此背景下,精心设计应对突发大客流的限流策略。具体突发大客流的场景构想如:在繁忙的工作日,当时间推进至上午 10 点,尽管莘庄站已度过了早高峰的客流高峰,但进站客流仍维持在 3000 人/h 的水平,同时换乘客流也高达 3500 人/h^[1]。然而,就在此时,1 号线遭遇了意外的故障,列车被迫暂停运行,致使大量乘客在站台上滞留,亟待有效疏导。

1 车站情况分析

莘庄站工作日平峰期的发车间隔如表 1 所示。在上述条件下,1 号线上行方向的列车将暂停运行,其他三条线路

正常运行。在乘客方面,相较于高峰时段,非高峰时段会购买单程票的乘客会增多,参考实际情况后,在论文中将购票与非购票乘客人数的比例设置为 3 : 7。此时的限流标准已不能采取站台有效区域的客流密度达到 3.3 人/m² 为限流标志,因为若在该密度下才采取限流措施,就会因没有列车供乘客疏散而导致站台的乘客不断增多,增加安全隐患。由于目前对列车故障而采取限流措施的这种情况并没有一个权威的指标。所以,论文针对莘庄的实际情况,以故障持续时间和站台客流密度两个方面为依据,为莘庄站设计合适的限流方案。

表 1 1 号、5 号线列车平峰期运行间隔

线路	名称	时段	列车间隔
1 号线	平峰	9: 00~17: 00	4 分钟
5 号线	平峰	9: 30~17: 00	6 分钟

2 限流方案设计

通过 AnyLogic 仿真后发现,在软件运行至 10 分钟时,车站站台层就已有大量的乘客滞留,如图 1 所示。此时站台层的候车区已较为拥挤,从图 2 中可知,此时在候车区的乘客人数为 742 人,客流密度为 0.93,乘客到达速度为 74 人/

分钟。由此可以看出，若加以控制任由其增长，很容易产生安全隐患的风险^[2]。综上所述，论文采用列车停运时间达到 10 分钟为节点，开始进行限流措施。

2.1 一级限流措施

根据车站限流的原则，此时应该减少进入车站站台层的人数。在莘庄站，乘客若想乘坐 1 号线的上行列车，就必须通过如图 3 中红框所标记出的楼扶梯组。

由于莘庄站东、西站厅中红框所标记的楼扶梯组的规格完全相似，所以仅以西站厅的楼扶梯组作为对象进行叙述。

为了减少到达站台层的乘客，设计了关闭楼梯②，仅开行楼梯①，仅开行自动扶梯三种限流方案。它们的限流效果如图 4 所示。观察图例可以发现，三种限流方案均没有产生比较好的限流效果，其中效果最好的仅开行自动扶梯的措施也仅做到了每分钟减少 9 位乘客到达站台层，使到达站台的人数降到每分钟 66 人。除此之外，在仅开放自动扶梯供乘客通行的情况下，在 5 号线乘客换乘时，会在自动扶梯口产生最大客流密度达到 2.7 人 /m² 的情况，如图 5 中红框所示。

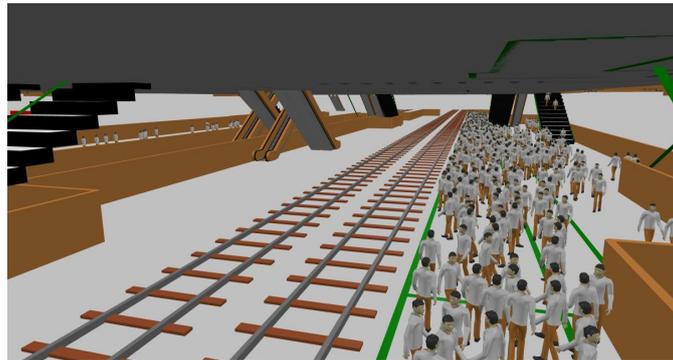


图 1 乘客滞留图

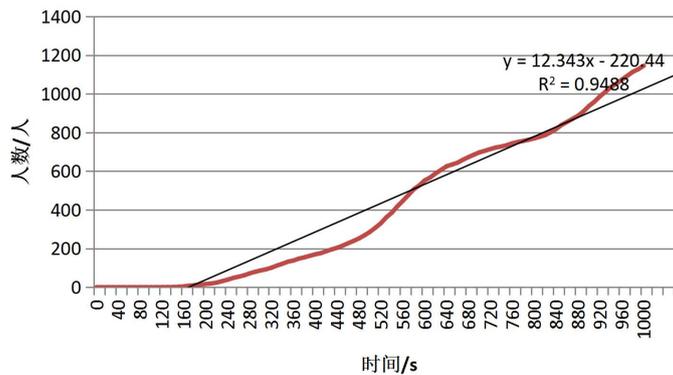


图 2 候车区等待人数散点图

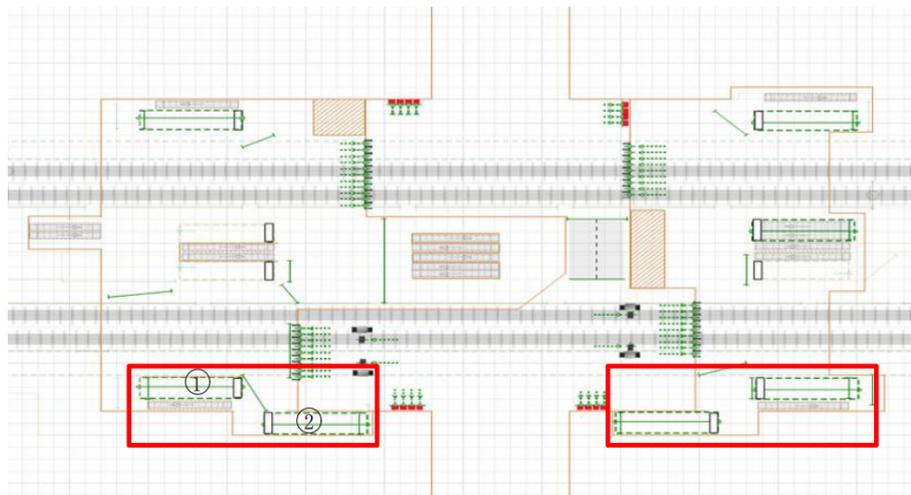


图 3 莘庄站站厅层平面图

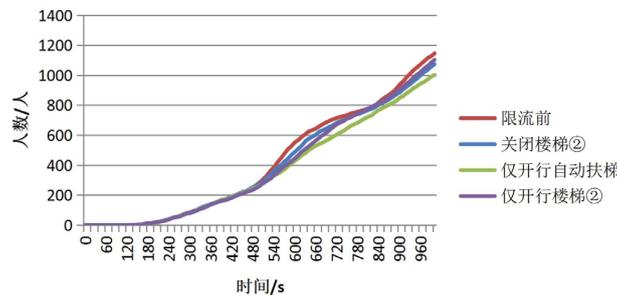


图 4 限流方案对比图

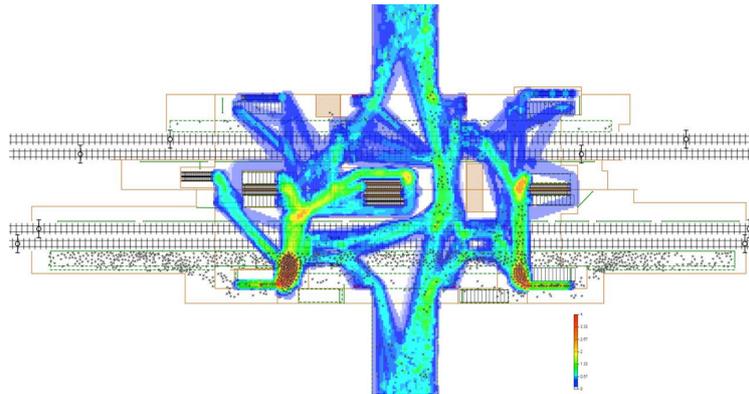


图 5 客流密度云图

2.2 二级限流措施

在一级限流措施没有起到很好的效果后就需启用二级限流方案，该方案旨在减少进入付费区的乘客数量。针对莘庄站的实际情况，在采取了仅开行自动扶梯这个一级限流措施的情况下，这里选择的限流措施为如表 2 所示的两种。

表 2 二级限流措施

类别	位置	措施
措施一	换乘路径	设置栅门，减少通过率
措施二	进站闸机	关闭部分闸机，减少进站人数

措施一：在第二阶段限流措施设计中所得的方案，并对比了各自的客流条件，做成了以下选择：因为现有条件下，换乘客流并不会在 1 号线楼扶梯口处造成客流拥挤，故不采用设置 U 型通道及设置长围栏这类延长乘客行走距离的措施，仅采用栅门的方式控制客流。在经过 AnyLogic 模拟后发现，在只开放 2 个栅门的情况下，换乘的乘客能在不造成堆积的条件下，即 6 分钟内，最大限度的减少到达站台层的速度，且能减少楼梯口处的客流密度，最后措施如图 6 所示。此时乘客到达站台层的速率为平均每分钟 62 人^[3]。

措施二：对于进站的乘客，可以从关闭部分闸机与关闭部分售票机的角度出发，来设计限流方案。在安检机方面，通过 AnyLogic 模拟了在当前客流量下，开启不同数量闸机时乘客的排队状况，仅开放 1 台闸机时，其曲线在达到 50 人左右时就趋于平缓，这是因为软件受限，在该场景下无法承载更多的人，在实际情况下，这条曲线还将持续升高。对

比开放 2 台闸机与 3 台闸机的情况，虽然两者都有排队现象，但仅开放 2 台闸机的排队人数更多，且能稳定在平均每台闸机前都有 3 人在排队的情况，所以在西站厅关闭 7 台闸机，东站厅关闭 9 台闸机，都仅开放 2 台闸机供乘客进站的限流方式较优。此时乘客到达站台层的速率为平均每分钟 62 人。

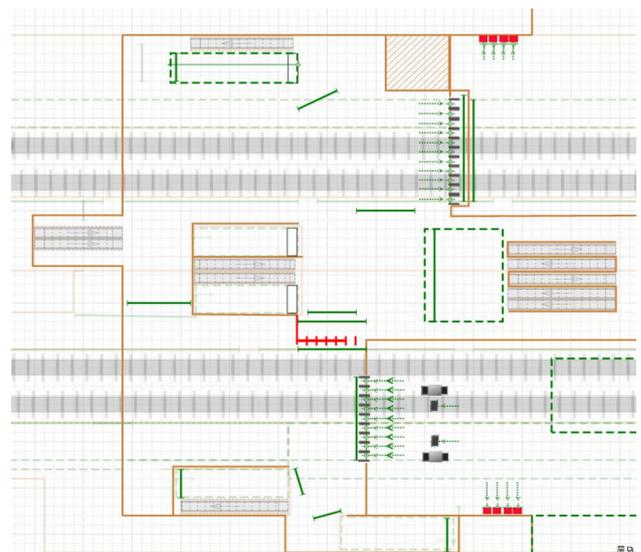


图 6 二级限流措施

在售票机方面，莘庄站共有 4 个放置售票机的位置，如图 7 所示。因售票机在南、北出入口分布平均，所以就以北出入口为例进行模拟，南出入口与之相似。通过 AnyLogic 软件仿真出在开行 1、2、3 台售票机时的乘客排

队情况。在仅开行 1 台售票机时会产生大量乘客排队的情况，这并不可取。而在开行 3 台闸机时，排队人数较少，起不到限流的效果。相比之下，开行 2 台闸机为最优方案，此时平均每台售票机前都有 4 名乘客正在排队。在综合考虑车站布局后，最后选择关闭①、③处的所有售票机，在②、④处关闭 1 台售票机，开行 3 台售票机。这种开行方式能在起到限流效果的同时，增加乘客选择东站厅的意愿，从而减小因楼梯扶梯分布不均而使西站厅产生的客流压力。此时乘客到达站台层的速率为平均每分钟 65 人。

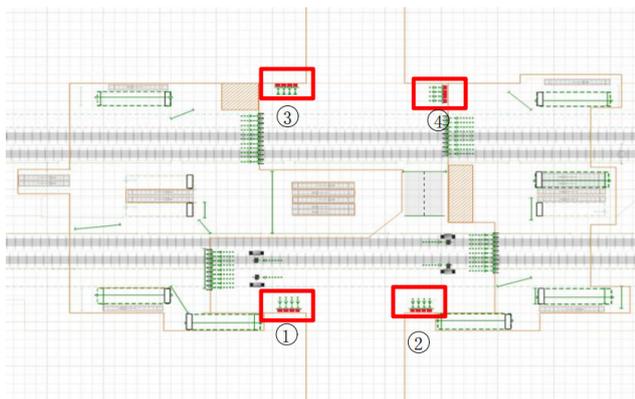


图 7 莘庄站售票机分布图

结合上述的两种限流措施，以乘客来源为区分，设计了三种针对二级限流的限流方案，如表 3 所示。通过 AnyLogic 逐一仿真得出的结果三种方案的限流效果都不理想，但其中方案三比其他两种方案略优，达到了平均每分钟 57 人进入站台层的限流效果，而另外两种方案则为 61 人左右。所以最后选择方案三作为二级限流的限流方案。且因为该情况下的一、二级限流措施无法产生可观的效果，所以在发生列车停运时间达到 10 分钟的时候，即需在连接 1 号线上行站台的楼梯扶梯处仅开放自动扶梯的条件下，同时采取二级限流措施。

表 3 二级限流方案

类别	措施	描述
方案一	措施一	在换乘路径上设置栅门
方案二	措施二	关闭部分闸机与售票机
方案三	措施一 + 措施二	同时执行上述方案

2.3 三级限流措施

若列车因某些原因，导致系统中断运营时常达到 15 分钟，此时车站就需采取“只出不进”的措施。根据 AnyLogic 的模拟，莘庄站在上述背景下，在 10 分钟同时采取了一级、二级限流措施的情况下，在中断运营时间达到 15 分钟时，1 号线上行站台上将会滞留约 1300 名乘客，在

考虑事后给后续车站乘客预留空间的情况下，这是一次列车所能运载的极限。所以在中断运营到达 15 分钟时，就需采取半封站措施。

此时，依据常态大客流下的封站措施进行相应的操作，即在北 1、北 2 和南出入口的楼梯扶梯处设置铁马，禁止乘客进站，使扶梯组只能为乘客提供出站功能。此外，还可在车站内南出入与通道的连接处设置铁马，限制乘客进站，形成进站时的第二道限流措施，必要时还可放行一部分在南出入口楼梯扶梯出等待的乘客，减小客流压力。

对于车站内需要换乘 1 号线的乘客，可按照图 8 中红色箭头的路径将乘客引导至红框内等待，在西站厅红框内乘客密度达到 2.5 人 /m² 时，需要在 5 号线站台层引导乘客进入东站厅，以免发生危险。

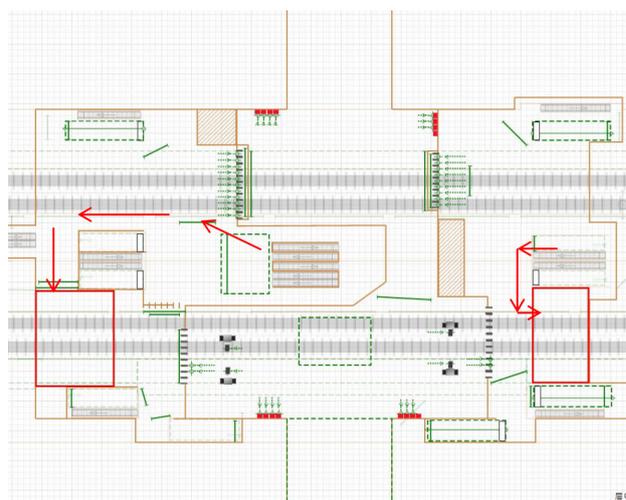


图 8 换乘乘客限流方案图

3 结语

城市轨道交通常态和突发大客流的发生，都会给整个城市轨道交通线网的运营带来巨大的影响。因此以莘庄为例，通过 AnyLogic 仿真出了在发生常态和突发大客流下，车站的乘客行为及设施设备的运载能力，以此为依据分别制定了以客流密度为依据和以时间为依据的限流方案。在仿真过程中，通过对不同措施限流效果的比对，对每一个工况都进行了优化，得出最终的限流方案。

参考文献：

- [1] 贾控航. 地铁车站大客流分析[J]. 现代企业, 2013(5): 79-80.
- [2] 李树鹏. 城市轨道交通突发大客流运营组织研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.
- [3] 刘汉英. 基于 Anylogic 的地铁车站客流仿真分析[J]. 铁路计算机应用, 2020, 29(9): 6-11.