

# 基于排队论模型的天津地铁刘园站安检系统优化研究

韩骁<sup>1</sup>, 王多龙<sup>1</sup>, 庄金翠<sup>2</sup>

(1.天津轨道交通运营集团有限公司, 天津 300022; 2.中国铁路北京局集团公司信息技术所天津电子所, 天津 300241)

**摘要:** 以排队论原理为基础, 通过构建安检进站排队模型对刘园站安检设备布置方案和配置数量进行优化改进。计算结果表明, 通过增加一处安检通道可使乘客排队等待时间下降82%, 可有效缓解安检点处拥堵问题, 提高乘客通行效率, 为刘园站实际运营管理提供参考。

**关键词:** 天津轨道交通; 安检排队时间; 排队论; 安检布置方案; 乘客通行效率

**中图分类号:** U298

**文献标识码:** A

**DOI:**10.16248/j.cnki.11-3723/u.2020.10.058

## 0 引言

随着城市化进程的不断加快, 城市人口迅速增长, 越来越多的乘客将城市轨道交通作为首选的出行方式, 对出行时间的要求也越来越高。但在早晚高峰时期, 地铁安检排队导致安检效率严重影响了乘客的出行时间。尤其近几年, 因安检排队时间长、安检效率低导致的拥挤时有发生。因此, 有必要对安检设备布置方案和配置数量进行优化改进, 以减少乘客安检排队时间, 提高安检通行效率和乘客乘坐地铁的舒适度。

## 1 刘园站安检现状

刘园地铁站是天津地铁1号线北段的终点站, 有A、B两个出入口, 如图1所示。周边有瑞景大型居住区, 天津市第二儿童医院、代谢病医院等大型医院, 同时车站还承载着外环线以外高校的学生客流。由于是终点站, 刘园站在前期土建设计时, 将出站站厅和进站站厅分设在辰昌路的两侧, 导致A口和B口每侧站厅只能是单进或单出, 所有进站客流都会集中在B口一侧站厅。

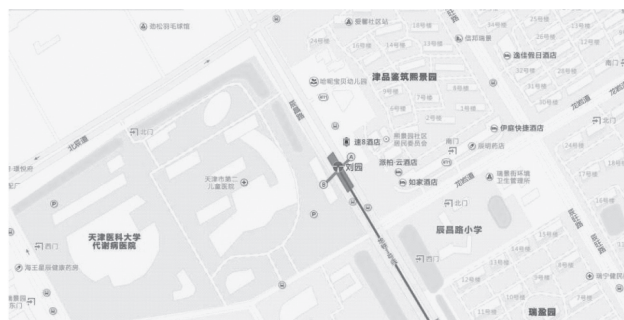


图1 刘园站地理位置街区图

刘园站的客流具有明显的潮汐特征, 早高峰时段为7:00—9:00, 以进站客流为主, 主要是上班上学通勤客流。晚高峰时段为17:00—19:00, 以出站客流为主, 主要是下班放学

的通勤客流, 一天内整体客流会呈“驼峰形”分布。刘园站在初设时, 只单纯考虑终点站进出站功能, 并未考虑安检设备设置问题。直至2014年天津地铁路网各站增设安检设备, 刘园站在B口进站站厅处设置1台安检设备, 如图2所示。

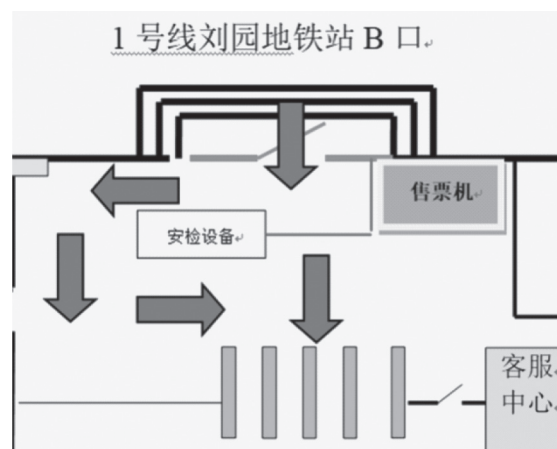


图2 刘园站安检设备布置示意图

目前, 刘园站B口早晚高峰时段内, 进站安检客流排队较长, 乘客等候时间长, 舒适度很差。分析刘园站B口安检效率低的原因, 主要有以下几点: (1) 刘园站建成于2006年, 车站设计时并未充分考虑安检设备布置问题。而2014年刘园站增设安检时, 站内空间及设备设施布局限制了安检点布置; (2) 刘园站位于城郊结合处, 且周边毗邻大型医院和社区, 客流短时聚集特征明显; (3) 安检初设时, 设计未有效结合刘园站客流特点考虑安检设备布置方案和配置问题。

## 2 采用排队论分析安检过程

排队论是研究系统随机聚散现象和随机服务系统工作过程的数学理论和方法, 又称随机服务系统理论。排队论不仅可以合理设计、有效管理一个服务系统, 使服务系统能够满足乘客的需求, 还可以使服务系统的费用耗损最为

收稿日期: 2019-12-23

作者简介: 韩骁(1983—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为轨道交通运营管理。

经济或服务指标最优。因此，本文利用排队论对刘园站安检排队情况进行分析，构建安检排队模型，进而对刘园站安检设备布置方案进行优化研究。

2.1 刘园站安检布置现状

目前刘园站安检布置属于单机单通道，即安检排队队

列与监控台分别位于安检X光仪两侧。乘客进站后根据安检处业务繁忙或空间的情况选择有序排队或接受安检服务，待接受安检服务后离开，选择购票乘车，具体安检作业流程如图3所示。

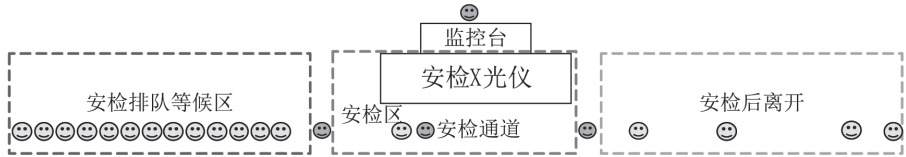


图3 安检系统作业流程图

2.2 基于排队论的问题描述

结合刘园地铁站乘客的出行特点，可将乘客进站安检过程简化成一个排队模型。城市轨道交通是公共交通方式的一种，可以假设进站乘客来源是无限的，乘客相继到达安检点位的间隔时间服从客流到达强度为 $\lambda$ 的泊松分布，安检的服务时间服从 $1/\mu$ 的指数分布，安检点位的数量根据安检机器设定为1个安检通道，排队规则为先到先服务。根据上述设置，本文的排队模型可以表示为M/M/C/ $\infty/\infty$ /FCFS，其中C选取1。

本文选取了早高峰7:00—8:00时间段对刘园地铁站B口的进站安检客流进行统计，得到1min内相继通过安检的客流人数结果如表1所示。

表1 刘园站7:00—8:00时段内安检进站客流数据

时间段 分钟	7: 00 —7: 10	7: 10 —7: 20	7: 20 —7: 30	7: 30 —7: 40	7: 40 —7: 50	7: 50 —8: 00
第1分钟	10	20	31	40	41	28
第2分钟	8	25	35	41	40	29
第3分钟	18	32	36	32	36	30
第4分钟	25	35	30	37	37	31
第5分钟	10	25	38	25	38	25
第6分钟	8	20	34	37	35	27
第7分钟	25	17	37	38	33	17
第8分钟	14	32	39	39	25	30
第9分钟	22	26	40	40	31	28
第10分钟	15	28	38	42	30	25

由表1可得出，通过客流量的最大值为42人/min，因此可设定此值为刘园站单台安检设备情况下，每分钟通过安检的最大实际通行能力。根据实际统计和计算，可将单台安检最大的通过能力为 $42 \times 60 = 2520$ 人/h作为现有刘园站安检设施的设计依据。

乘客安检的过程包括乘客到达安检队列排队等候，放置行李、接受安检服务、拿取行李离开，将此段时间定义为安检服务等候时间。整个过程中每个乘客之间存在行为相互叠加的过程，由于不同乘客的性别、年龄、行为差异，每个安检环节可能会对后续乘客造成影响。本文假设每个乘客的安检不会对其他乘客造成影响，是相对固定的一个过程。根据天津地铁安检操作标准要求，每名乘客手检时间不少于15s。本文将手检扫描时间确定为15s/人。

表2 刘园站每10s内到达乘客数统计

10s	到达乘客数	10s	到达乘客数
1	7	10	8
2	10	11	5
3	7	12	3
4	8	13	7
5	4	14	9
6	5	15	5
7	9	16	6
8	4	17	5
9	6	18	8

表3 安检服务等候时间统计

人群类型	安检时间 (s)	出现频次
未携带行李乘客	0.0~0.6	40
	0.6~1.2	18
	1.2~1.8	13
	1.8~2.4	11
携带行李乘客	3.5~4.1	5
	4.1~4.7	3
	4.7~5.3	6
	5.3~5.9	4

选取最高峰期间（7:39—7:41期间）180s内乘客到达情况进行统计，可以得出，高峰期间乘客到达服从 $\lambda = 0.64$ 人/s的普阿松流。安检服务时间服从 $\mu = 0.65$ 人/s的负指数分布。

根据已经确定的排队论模型。可以得到如下计算结果：

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0.64}{0.65} = 0.98 \quad (1)$$

说明系统的繁忙程度为0.98。

根据排队模型，可以得到系统进入稳定后的等待通过安检的平均人数为：

$$L_q = \frac{\rho\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{0.98 \times 0.64}{0.01} = 62.72 \quad (2)$$

系统进入稳定后正在安检和等待的平均总人数：

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{0.64}{0.01} = 64 \text{人} \quad (3)$$

乘客到达安检队列等待安检的平均时间：

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{0.98}{0.01} = 98 \quad (4)$$

乘客到达安检队列进行等待直到最终通过安检所需要

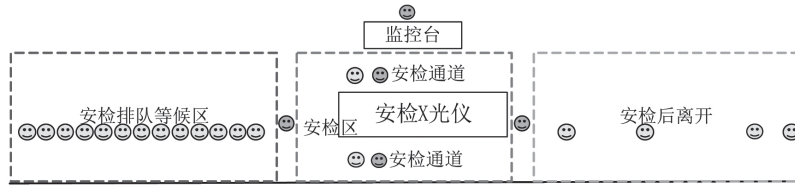


图4 刘园站B口安检优化方案

的平均时间:

$$w_s = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{0.01} = 100 \quad (5)$$

通过上述计算可以得到, 乘客从到达车站再经过安检进站需要约100s左右的时间, 与现场实际情况一致。

### 3 刘园安检优化方案

单纯从时间上看, 在目前安检设备和人员配置情况下, 乘客通过刘园安检点进站等候时间在可接受的范围内。但对于乘客体验来讲, 乘客期望等候的时间 ( $w_s$ ) 越短越好, 同样对于运营企业来讲, 也希望尽快完成乘客的排队服务, 降低乘客在安检处的滞留时间, 以减少客流拥堵带来的风险和安全隐患。

由于刘园站的实际站厅空间有限, 不具备增加安检设备的条件, 因此本文提出的安检优化方案为在站厅内再增加一个安检通道, 如图4所示。可以构建一个M/M/2/∞的排队系统, 此排队系统是一种多服务等待的系统, 即有2个安检通道独立的并行服务, 当乘客到达安检的时候, 如果安检通道有空闲便立刻接受服务, 若安检通道没有空闲, 则排队等待, 直到有空闲的安检通道再接受安检。

当设置2个安检通道情况下, 可以计算得到:

$$\rho_c = \frac{\lambda}{c\mu} = 0.49 \quad (6)$$

$$L_q = \frac{\rho_c}{(1 - \rho_c)^2} P_c = 10.6 \text{ 人} \quad (7)$$

$$w_q = \frac{\rho_c}{\lambda(1 - \rho_c)^2} P_c = 15.56 \text{ s} \quad (8)$$

$$ssw_s = w_q + \frac{1}{\mu} = 18 \text{ s} \quad (9)$$

优化前后关键数据对比见表4。

表4 优化前后关键数据对比

排队系统关键指标	M/M/1	M/M/2
系统繁忙程度	0.98	0.49
等待通过安检的平均人数 $L_q$	62.72人	10.6人
等待安检的平均时间 $w_q$	98s	16.56s
通过安检所需要的平均时间 $W_s$	100s	18s

通过计算可以看到, 在空间条件限制的情况下, 适当增加安检通道, 乘客的等候时间将呈现明显下降。若采取增加安检设备的方法, 必然配备同等数量的安检人员, 在高峰情况下虽然解决了排队时间长的问题, 但在一定程度

上增加了人力成本和设备成本的支出。本文的优化方案是新增安检通道并采取灵活配置模式, 虽然人力上也需要增加, 但相对增加一个安检处, 人力成本支出要节省很多。这样刘园站可在早晚高峰期间安排人员开启两个安检通道, 平峰时间段关闭一个安检通道。

由于安检设备属于运营后增加设备, 受制于场地空间、人力和设备成本等的限制, 除了可以适当增加安检通道以外, 天津地铁1号线刘园站还将采取以下措施, 提高安检效率, 减少乘客等待时间, 提高乘客舒适度。

(1) 规范安检作业流程, 加强安检员工业务标准培训, 缩减因安检服务人员的业务不到位造成的操作不一致问题。

(2) 提高乘客自身的安检效率, 在安检通道处增设明显的乘客安检流程提示, 如提前准备好携带的包裹和液体等, 让乘客在等候过程中提前掌握需要完成的安检步骤, 并在队列过程中进行重复告知。

(3) 提高安检机的传送速度, 提高设备的危险品主动识别报警功能, 降低人工识图错误率。另外, 将来计划结合当前的大数据和人工智能学习, 增加图像的后台比对和深度学习, 提升安检X光机智能识别功能, 进一步提升安检效率。

### 4 结语

本文首先利用排队论模型对地铁刘园站的安检设备布置方案进行优化。经过理论计算, 得出通过增加一个安检通道, 可使乘客排队时间降低82%, 且相较于增加安检设备, 该方案能有效节省设备及人力成本。结合实际情况和当前技术, 本文还提出了安检改进的其他措施, 期望能够为同行业提供借鉴和参考。需要注意的是, 本文建立的排队模型是在一定理想条件下的分析和计算, 现实情况还存在很多复杂多变的因素, 这些因素都将会对车站安检的排队系统产生影响。因此, 随着轨道交通行业的不断发展和安检新技术的不断研发, 需要根据实际及时构建安检排队模型, 并标定符合实际的相关参数, 根据计算结果调整安检方案, 以满足日益增长的客流需求和有关部门对安检的要求。

### 参考文献:

- [1] 支亦杰, 董润, 汤献文. 机场安检过程改进方案[J]. 数学学习与研究, 2018 (5): 133-136.
- [2] 马玉姣, 刘凯. 城铁安全检查通过率分析及建模研究[J]. 物流技术, 2011, 30 (4): 100-103.
- [3] 刘慕磊, 李明捷, 等. 机场安检服务流程优化研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2018, 29 (4): 31-35.