

地铁运营初期客流成长规律分析

赵雯 付凌峰

【摘要】本文以西安地铁自第一条线路开通至2014年双线运营过程中的真实完善的历史客流数据为基础，分别对西安地铁从单线向双线过渡转变过程中客运强度、客运量、高峰断面客流、换乘系数的成长规律和影响因素进行分析，最后总结出西安地铁历史客流的年变、月变、日变系数，旨在为既有线路短期内的客流预判、客流特征把握、运输计划编制、交路研究、运能配置提供参考依据，同时为其他城市的运营初期的客流成长规律分析提供借鉴。

【关键词】客流；成长规律；日客运量；高峰断面；预测

1 引言

西安地铁自2011年9月16日首条线路开通至今，期间共经历了1号线开通和2号线南段开通这两个重要节点，它们使西安地铁在客流量值等方面产生了突飞猛进的变化。西安地铁是我国第13个开通地铁的城市，目前正处于向网络化线网发展的关键时期，而和西安地铁一样处于运营初期的地铁城市还有很多。因此以西安地铁为典型，以其一系列完整的客流数据为依据，不断总结和把握地铁运营初期客流的成长规律及特征，提高短期客流预测水平，对于西安地铁和其他处于同一阶段的地铁城市均具有重要意义。

2 客流成长规律及特征分析

西安地铁从单线到十字换乘的主要运营指标如下表1所示。

表1 西安地铁十字线网主要指标

| 年份 | 线路/条 | 线路长度/km | 车站数/座 | 运营里程/列公里 | 客运量/(万人次·d ⁻¹) |
|------|------|---------|------------|----------|----------------------------|
| 2011 | 1 | 19.869 | 17 | 497301 | 15.10 |
| 2012 | 1 | 19.869 | 17 | 1835206 | 16.14 |
| 2013 | 2 | 44.676 | 35 | 2975882 | 33.25 |
| 2014 | 2 | 50.940 | 39(含1座换乘站) | 4399408 | 77.39 |

如上表所示，1号线开通后2号线日均客运量年度同比增速达到100%以上，同时2号线南段的开通进一步刺激了双线客流增长，取得了显著的社会效益。下面将从客运强度、日

客运量、断面客流、换乘客流等方面对西安地铁客流变化规律进行深入研究。

2.1 客运强度变化规律

2.1.1 随时间变化趋势

西安地铁 9 月份客运量约 90 万人次/日，客运强度 1.77 万人次/日·公里（线路单位长度上每天承担 1.77 万人次的客运量）。日均客运量在国内 20 个地铁城市中排名第 8 位。承担了西安市区约 7% 的交通出行量（建成区 480 万人口，日交通出行 1050 万人次）。西安地铁自开通以来月度客运强度变化趋势见图 1。

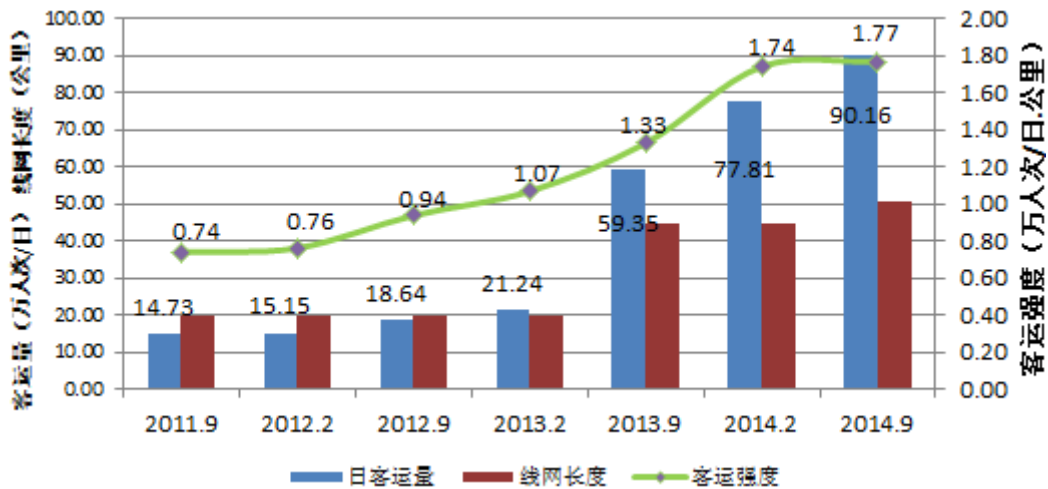


图 1 西安地铁开通以来客运强度增长趋势图

由上图可见，随着西安地铁线路长度的不断增加，客运强度也在相应增加，线路运营效率不断提高。同时可以看出 2013 年前客运强度增长幅度较为缓慢，2013 年 9 月 1 号线的开通使当月线网客运强度迅速提升，较上年同期增长了 85.11%。而 2014 年 6 月 2 号线南段的开通则对客运强度影响较小，从数值来看没有产生太大变化。在西安地铁的网络化进程中，不同的线路对客运强度产生的影响不同，其中 1、2 号线均属骨干线路，而 2 号线南段属延长线路和市郊区线路，骨干线路的加入会使线网客运强度在短时间内增加，而延长类及郊区类线路在短时间内对客运强度影响较小，甚至有时会拉低线网客运强度整体水平。

2.1.2 按照不同日期分类的变化趋势

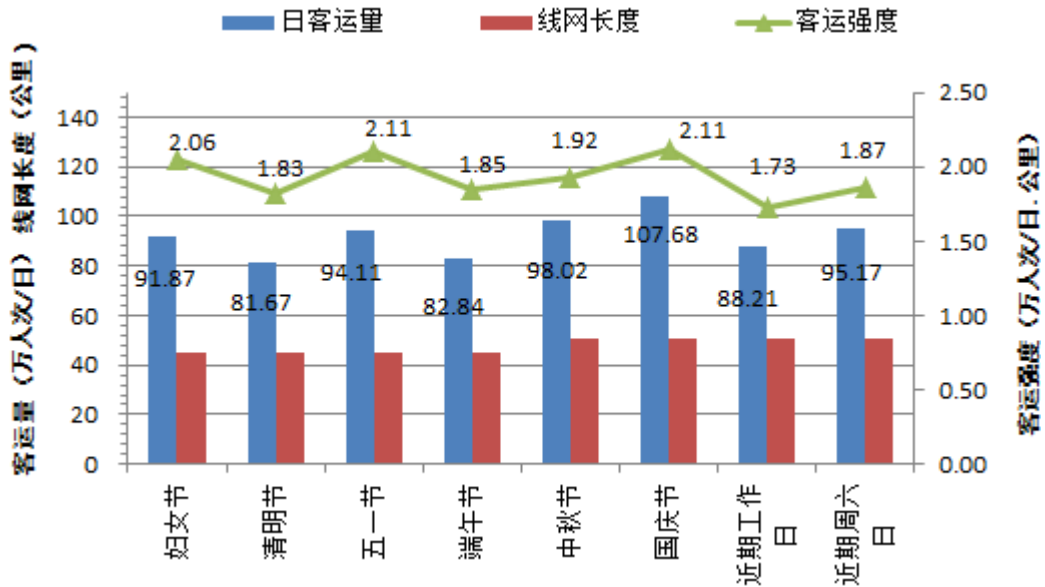


图 2 2014 年度特殊节假日与工作日、周六日客运强度对比图

西安地铁在特殊节假日期间的客流强度要高于同期工作日及周六日，因此在一段统计期内会形成波动式增长。西安地铁在特殊节日期间客运强度较大，其在妇女节、五一及国庆节期间的客运强度已超过 2.0 万人次/日·公里，运送乘客效率较高。而在 2014 年国庆期间，西安地铁线网客运强度已超过北京地铁、上海地铁、成都地铁等较早开通城市，仅低于广州地铁线网客运强度（2.64 万人次/日·公里）。

2.2 日客运量变化规律

西安地铁在开通当年客运量为 15.10 万人次/日，2012 年客流增长幅度仍较小，较 2011 年平均增长 1.0 万人次/天，年度增长幅度为 6.89%；至 2013 年 1 号线开通后双线日均客运量大幅增加，年度日均客运量达到 33.25 万人次，年度增长幅度达到 106.01%；截止至 2014 年 9 月份，年度日均客运量为 77.39 万人次，年度增长幅度 132.75%。在看似波动无序的数据下，客运量正遵循着一定规律变化着。考虑到 1 号线开通时间短、数据样本少，本文重点以 2 号线客流为例，不断总结其年月日变系数变化情况。

2.2.1 日变系数

将西安地铁 2 号线 2012 年-2014 年期间，各年度（52 周/年）客运量按照周一至周日归类后分别取平均值，客运量值如下表 2 所示：

表 2 西安地铁 2 号线 2012-2014 年度日均客运量（按照星期计算） 单位：人次

| | 2012 | 2013 | 2014 |
|----|--------|--------|--------|
| 周一 | 151728 | 254370 | 451530 |
| 周二 | 149975 | 251404 | 446726 |
| 周三 | 149559 | 251262 | 445764 |

| | | | |
|----|--------|--------|--------|
| 周四 | 150219 | 247112 | 441003 |
| 周五 | 170604 | 274670 | 496312 |
| 周六 | 183670 | 276884 | 479123 |
| 周日 | 167418 | 261520 | 459277 |

以周二客运量为基准值，分别计算出各年份日变系数及均值如下表 3 所示：

表 3 西安地铁 2 号线 2012-2014 年度日变系数（按照星期计算）

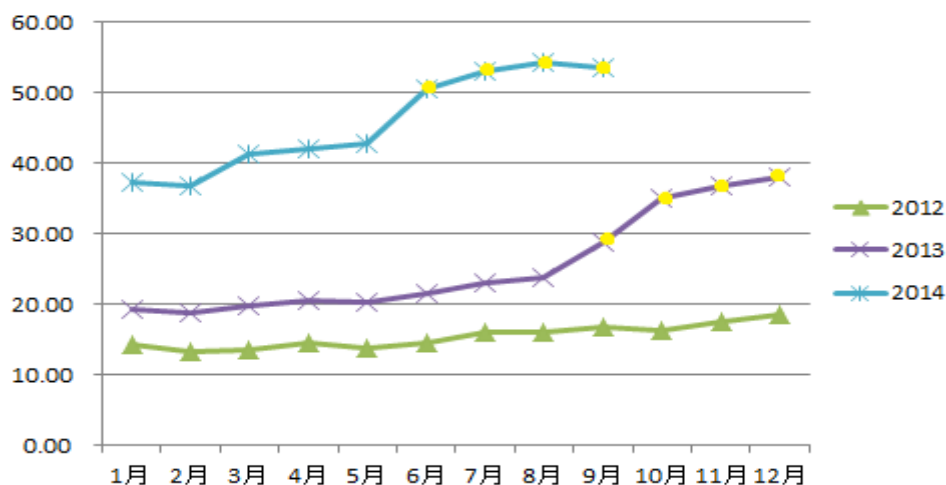
| | 2012 | 2013 | 2014 | 日均 |
|----|------|------|------|------|
| 周一 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 周二 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 周三 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 周四 | 1.00 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| 周五 | 1.14 | 1.09 | 1.11 | 1.11 |
| 周六 | 1.22 | 1.10 | 1.07 | 1.13 |
| 周日 | 1.12 | 1.04 | 1.03 | 1.06 |

从变化趋势上分析，3 年内周一、周二、周三、周四日变系数基本保持不变，分别为 1.01、1.00、1.00、0.99。周五日变系数具有一定波动性且随着年份推移其与周六日变系数值间距不断缩小最终反超，非工作日日变系数有逐年降低趋势。从数据值上分析，周六居一周内最大值，其次为周五、周日，而其他工作日日变系数则较小，其间周一的日变系数值较大，周四最小，周二和周三数值相等。从构成原因来看，周一至周五客运量构成主体为日通勤客流，除此之外周一还包含部分周通勤客流，周五包含部分周通勤客流和生活客流，周六周日客运量构成主体为生活客流，故其客流波动性较大。

2.2.2 月变系数

(1) 工作日

各年份各月度工作日日均客运量情况见下图 3。



注：黄色图标表示同年内受新线开通影响月份。

图 3 2 号线工作日客运量变化趋势图（2012-2014） 单位：万人次

本文以1月份工作日日均为基准值，分别计算出各年份月变系数及均值如下表4所示：

表4 西安地铁2号线不同月份工作日客运量月度变系数

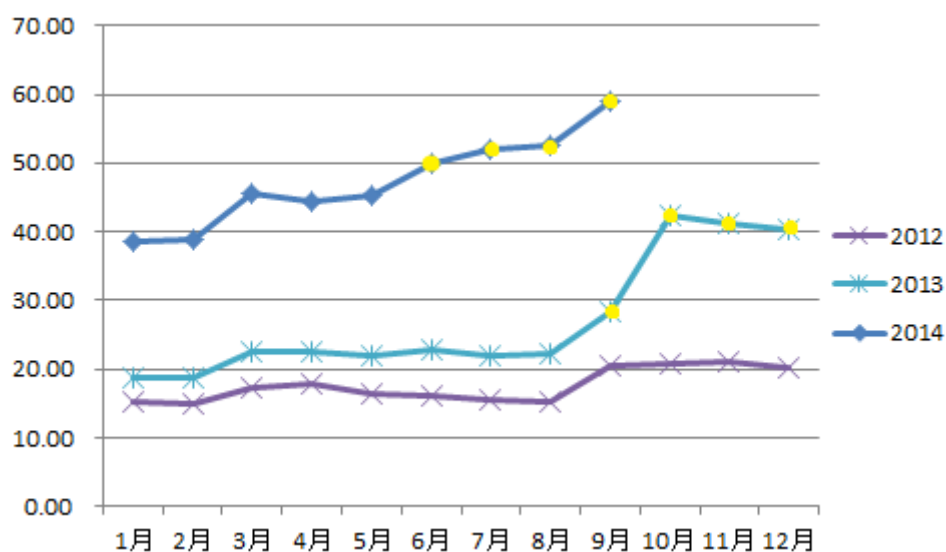
| | 2012 | 2013 | 2014 | 日均 |
|-----|------|-------------|-------------|------|
| 1月 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2月 | 0.93 | 0.98 | 0.99 | 0.96 |
| 3月 | 0.95 | 1.04 | 1.10 | 1.03 |
| 4月 | 1.02 | 1.07 | 1.13 | 1.07 |
| 5月 | 0.97 | 1.06 | 1.15 | 1.06 |
| 6月 | 1.01 | 1.13 | <u>1.36</u> | 1.07 |
| 7月 | 1.12 | 1.20 | <u>1.42</u> | 1.16 |
| 8月 | 1.11 | 1.24 | <u>1.46</u> | 1.17 |
| 9月 | 1.16 | <u>1.83</u> | <u>1.43</u> | 1.16 |
| 10月 | 1.14 | <u>1.92</u> | | 1.14 |
| 11月 | 1.21 | <u>1.98</u> | | 1.21 |
| 12月 | 1.30 | <u>1.83</u> | | 1.30 |

注：下划线标记数据为新线开通导致的月度系数大幅增长，未计入日均结果中。

2号线工作日客运量随月份推移基本成稳定增长趋势，各年度月变系数普遍具有一定规律性，一般在12月份达到年度最高值，在2月受春节影响处于全年最低水平，在4月份及9月份容易出现客流小高峰，但增幅有限。其主要原因为工作日主要客流组成为通勤客流，受天气温度等变化影响较小，随着运营服务水平提升以及运营线路的扩展，乘车人群会不断积累。

(2) 非工作日

各年份各月度工作日日均客运量情况见下图4。



注：黄色图标表示同年内受新线开通影响月份。

图4 2号线非工作日客运量 (2012-2014) 单位：万人次

同样以1月份非工作日日均为基准值,分别计算出各年份月变系数及均值如下表5所示:

表5 西安地铁2号线不同月份非工作日客运量月度变系数

| | 2012 | 2013 | 2014 | 日均 |
|-----|------|-------------|-------------|------|
| 1月 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2月 | 0.98 | 1.00 | 1.01 | 1.00 |
| 3月 | 1.14 | 1.20 | 1.18 | 1.17 |
| 4月 | 1.17 | 1.20 | 1.15 | 1.17 |
| 5月 | 1.09 | 1.17 | 1.17 | 1.14 |
| 6月 | 1.06 | 1.22 | <u>1.29</u> | 1.14 |
| 7月 | 1.01 | 1.18 | <u>1.35</u> | 1.10 |
| 8月 | 1.00 | 1.19 | <u>1.36</u> | 1.09 |
| 9月 | 1.34 | <u>1.51</u> | <u>1.52</u> | 1.34 |
| 10月 | 1.36 | <u>2.26</u> | | 1.36 |
| 11月 | 1.38 | <u>2.20</u> | | 1.38 |
| 12月 | 1.33 | <u>2.16</u> | | 1.33 |

注:下划线标记数据为新线开通导致的月度系数大幅增长,未计入日均结果中。

2号线全年非工作日客运量相对于工作日波动性较大,但月波动系数仍具有一定规律性,下半年一般在10、11月份达到年度最高值,上半年在4月份出现客流高峰,而春节期间以及7、8月份客运量处于较低全年水平。其主要原因为非工作日出行目的较为复杂,一般由外出探亲、购物、旅游观光等多种客流群体组成,受季节变化等影响较大,月波动性较工作日更加明显。如受天气炎热情况及学生暑假影响,客运量一般会在7、8月份出现下降趋势,此时段工作日客运量大于周六日客运量。

2.2.3 年变系数

(1) 工作日

根据西安地铁2号线2012年-2014年工作日的月度客运量数据(详见图3),分别以前1年月度客运量为基准值,通过月度同比的方式,分别计算出各年份的年变系数如下表6所示:

表6 西安地铁2号线工作日年变系数

| 月份 | 2013年各月度同比(年月变) | 2014年各月度同比(年月变) |
|----|-----------------|-----------------|
| 1月 | 1.34 | 1.94 |
| 2月 | 1.42 | 1.96 |
| 3月 | 1.46 | 2.07 |
| 4月 | 1.41 | 2.05 |
| 5月 | 1.46 | 2.11 |
| 6月 | 1.49 | <u>2.34</u> |
| 7月 | 1.43 | <u>2.30</u> |
| 8月 | 1.49 | <u>2.29</u> |

| | | |
|------|-------------|-------------|
| 9月 | <u>1.73</u> | <u>1.85</u> |
| 10月 | <u>2.14</u> | |
| 11月 | <u>2.12</u> | |
| 12月 | <u>2.04</u> | |
| 年度系数 | 1.4 | 2.0 |

注：下划线标记数据为新线开通导致的年月变系数大幅增长，未计入年度系数中。

根据计算结果可以看出，不同年度各月度客运量同比均维持在稳定数值，2013年与上年各月度同比基本在1.4上下浮动，年度系数为1.4，说明排除新线开通的影响因素，2号线工作日客运量基本保持40%的年度增幅。2014年与上年度各月度同比基本在2.0上下浮动，年度系数为2.0，说明2号线在双线效应影响下，工作日客运量年度增幅达到100%，即工作日客运量翻倍。

(2) 非工作日

根据西安地铁2号线2012~2014年非工作日的月度客运量数据（详见图4），分别以前1年月度客运量为基准值，通过月度同比的方式，分别计算出各年份的年变系数如下表7所示：

表7 西安地铁2号线非工作日年变系数

| 月份 | 2013年各月度同比(年月变) | 2013年各月度同比(年月变) |
|------|-----------------|-----------------|
| 1月 | 1.23 | 2.07 |
| 2月 | 1.25 | 2.09 |
| 3月 | 1.30 | 2.03 |
| 4月 | 1.26 | 1.98 |
| 5月 | 1.32 | 2.07 |
| 6月 | 1.42 | <u>2.18</u> |
| 7月 | 1.43 | <u>2.37</u> |
| 8月 | 1.47 | <u>2.37</u> |
| 9月 | <u>1.39</u> | <u>2.09</u> |
| 10月 | <u>2.04</u> | |
| 11月 | <u>1.96</u> | |
| 12月 | <u>1.99</u> | |
| 年度系数 | 1.3 | 2.0 |

注：下划线标记数据为新线开通导致的年月变系数大幅增长，未计入年度系数中。

非工作日客运量波动性较工作日较大。2013年与上年各月度同比值在1.2-1.4上下浮动，年度系数低于工作日，均值为1.3，即排除新线开通的影响，2号线非工作日客运量基本保持30%的年度增幅。2014年与上年度各月度同比基本在2.0上下浮动，年度系数为2.0，即在双线效应影响下，2号线非工作日客运量年度增幅达到100%，客运量翻倍。

2.3 高峰断面客流变化规律

同样考虑到1号线数据样本较少，本文重点以2号线断面客流为例，分工作日、非工作日对高峰断面客流变化规律进行分析总结。

2号线自开通后高峰断面在数值上不断增长并基本与客运量增长趋势及形态保持一致，由于具有方向性，因此更能反映出不同阶段的运量需求特点。其中工作日受季节变化影响较小，高峰断面客流成稳定增长趋势。非工作日受季节变化影响较大，如各年度均在8月份最大小时断面客流明显减小，仅2014年8月份由于受2号线南段线路开通影响出现异常波动。具体见下图5。单位：万人次

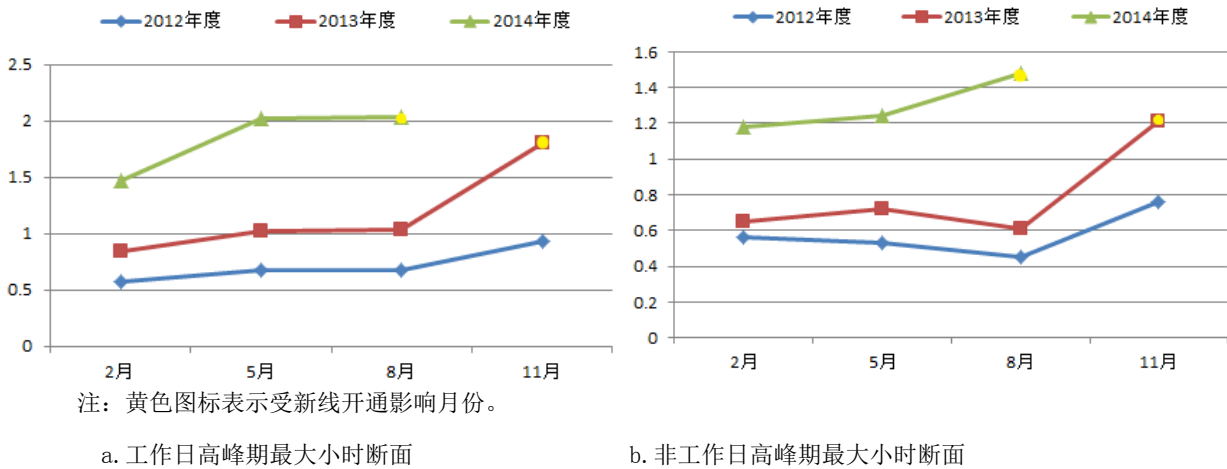


图5 2号线高峰期最大小时断面变化趋势图 (2012-2014)

2号线在2011年开通到2012年年初期间，工作日晚高峰最大小时断面客流始终大于早高峰，但自2012年春节过后，早高峰客流大幅增长，其最大小时断面也逐步增加且反超晚高峰。同时非工作日高峰时段不断向两端延伸，高峰时段中14:00-15:00、18:00-19:00小时断面客流逐步凸显，在特殊节假日极容易形成超高峰。

2号线最大小时断面客流发生区段在开通时较为分散，随着新线加入及换乘站形成，其最大小时断面逐步向换乘站（北大街）区域聚集。目前2号线早晚高峰断面基本成“陀螺”型分布，以安远门-北大街区段、北大街-钟楼区段为中心，逐渐向南北段递减。

直至今日，2号线工作日最大小时断面一般出现在周一早高峰7:30-8:30时段上行方向北大街-钟楼区间（换乘站临近区间）。非工作日最大小时断面多出现在18:00-19:00时间段上行方向北大街-钟楼区间（换乘站临近区间）。断面客流年度、月度变化趋势与客运量整体变化趋势基本保持一致，但由于其与日通勤、周通勤、返程、购物等因素密切相关，因此并不能单纯依靠单日客运量的大小来判断断面客流的大小。

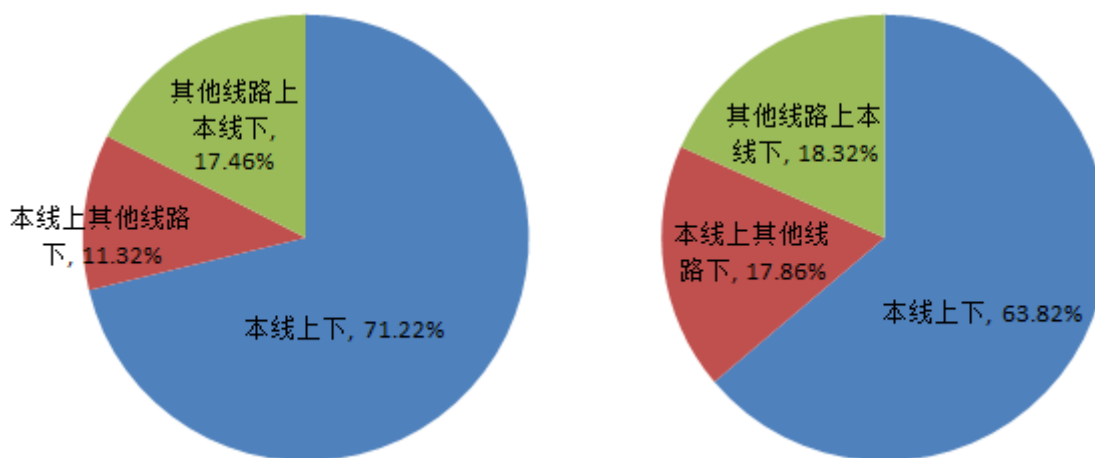
2.4 线网客流构成及换乘系数变化

西安地铁于2013年开始拥有第1座换乘站,线网年度日均换乘客流为11.52万人次/日,至2014年线网换乘客流增加至16.51万人次/日,换乘人数不断增加。在此期间,虽然线网长度发生了变化,但换乘车站并未增加,换乘客流增长量有限,换乘系数从1.22增至1.27。详见表8。

在2013年-2014年期间,2号线本线上下乘客所占比例由71.22%降至63.82%,换乘客流所占比例增加至36.18%,其中从1号线进2号线出客流所占比例则由17.46%增至18.32%,而从2号线进1号线出的客流所占比例增幅较大,在一定程度上也说明1号线客流吸引力不断增加。详见图6。

表8 西安地铁十字换乘客流及换乘系数变化

| 年份 | 客运量/ (人次·d ⁻¹) | 换入1号线/ (人次·d ⁻¹) | 换入2号线/ (人次·d ⁻¹) | 换乘系数 |
|------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|
| 2013 | 641800 (自9月16日起算) | 45343 | 69886 | 1.22 |
| 2014 | 773907 | 81521 | 83591 | 1.27 |



a. 2013年2号线客流构成分布图

b. 2014年2号线客流构成分布图

图6 2号线客流构成变化(2013-2014)

3 结论与启示

3.1 客流成长影响因素归纳

客流是线路规划设计、运输组织的依据和基础,其特征较为多变,成长规律和影响因素也较为复杂。以西安地铁为例,线路沿线的土地开发利用、季节气候的变化、运营服务水平提升、票价政策改变等均会对导致其客流的变化。

(1) 季节气候及温度变化会使客流产生波动性变化,尤其是对非工作日的影响更为显

著。通过分析上文对 2 号线历史客流数据的分析，在排除其他因素影响的情况下，2 月份日均客运量值及高峰小时断面客流值均处于年度内较低水平，而 4 月份、9 月份、10 月份等春暖花开、秋高气爽时节更容易增加市民出行频率。

(2) 新线开通及线网规模扩大

新线的开通，尤其是市区线路的开通、换乘站的增加都会使既有线路客运量成倍增加，如 2 号线在 2013 年 9 月 1 号线开通前客运量基本保持 30%-40% 的年度增幅，但在双线效应影响下，日均客运量年度增幅超过 100%。

(3) 运营服务水平提升

运营服务水平的提升是影响客流的重要敏感因素，其提升内容包括行车间隔的缩短、首末班车时间的延长、旅行速度的提高等等。如 2 号线 2013 年 12 月份更换工作日时刻表后，行车间隔由 5 分 22 秒缩短至 5 分 03 秒，短期内 2 号线工作日客运量约增长了 3.0 万人次/日。

(4) 票价政策

票价政策及水平的制定同样会给客流变化带来影响。2012 年 11 月 6 日西安地铁为贯彻落实全市缓堵保畅工作部署，吸引更多市民选择地铁出行，开始对持“长安通”卡乘坐地铁的乘客采取 7 折优惠。通过对实施优惠政策后四周的客流进行跟踪，发现周客运量平均环比增长了 4.6%，其中持一卡通乘客环比增长 9.8%，一卡通客运量占总客运量的比重增长了 4.7%。

(5) 沿线土地开发利用

客流增长与沿线土地的开发利用以及沿线商业圈的日益发展密切相关。通过研究发现，截至目前，西安地铁 50% 的乘客来自站点周边 2 公里范围内，80% 的乘客来自站点周边 5 公里范围内。因此沿线的土地开发密度、住宅区规模大小、商业活动繁荣程度均会直接影响到地铁客流变化。

3.2 主要结论及启示

通过结合西安地铁运营生产实际，得出主要结论及启示如下：

(1) 年月变系数可作为运营初期既有线路客流预测的基础

本文通过在分析西安地铁历史客流数据的基础上，分别得出年变、月变和日变系数（详见表 3—表 7）。在排除新线开通等其他外界因素发生较大改变时，通过此系数可得出西安地铁既有线路年度客运量、月度客运量，甚至是某一天客运量及其最大断面的预测值，并作为月度运输计划编制、年度运输计划编制、大小交路设置及运能配置的依据。

(2) 随着线网扩展西安地铁客运强度将呈波动式增长

目前西安地铁客运强度增速较快,尤其在节假日期间超过 2.0 万人次/日·公里,频繁赶超国内成熟地铁。但是客运强度一般不会一直保持此种高势态增长趋势,由于不同的线路对客运强度产生的影响不同,北京、上海、广州等国内成熟地铁在线网形成后的客运强度均呈波动式增长趋势。西安地铁正处于骨干线网搭建过程中,骨干线路的加入会使线网客运强度在短时间内增加,随着市郊类线路的陆续开通,受边际效应影响,届时极有可能会拉低线网客运强度整体水平,形成波动式增长的局面。

(3) 提升对既有线路客流预测的重视程度

实践证明,对于不受新线影响的既有线路客流预测,我们通过不断总结该线路历史客流数据的特点,通过计算年月周变系数的方法可以得出其日均客运量和高峰断面客流变化值。但是对于延长线路及受新线开通影响的既有线路,其客流预测仅凭一些历史数据是无法预知的。建议地铁公司在新线开通前能够对受其影响的既有线路进行预测,进行预测时可联合科研单位或高校进行专题研究,以便为线路运输计划的制定和运能设置提供科学依据

(4) 采用多种行车组织方式

对于断面客流出现明显的方向性差异、同一方向断面客流值差距过大等情况,可以尝试不对称开行列车、开行大小交路等多种行车组织方式。以西安地铁 2 号线为例,在上下行断面客流差异性长期存在的条件下,可考虑开行不对称列车,在列车数无法满足运量需求时,可考虑根据不同区段断面情况择机开行大小交路。

【参考文献】

- [1] 张建平.西安地铁 2 号线运营特征及运输能力适应性分析.城市轨道交通 [J].2013
- [2] 刘影杜.广州市轨道交通网络客流特征及成长规律.交通运输系统工程与信息[J].2011
- [3] 中国城市轨道交通专业委员会.城市轨道交通运营绩效评估体系(MOPES)成果报告.2013

【作者简介】

赵雯,女,博士,西安地铁运营分公司,工程师。电子信箱: 877856337@qq.com

付凌峰,男,博士,中国城市规划设计研究院,高级工程师