

常规公交线路功能分级指标及阈值研究

许威 陈学武 杨阳

【摘要】随着轨道交通、BRT 等大中运量公交系统的构建，常规公交系统的功能将发生较大的改变。本文以大中运量公共交通方式下常规公交线路功能分级指标为切入点，通过对公交线路报表数据、GPS 数据的挖掘，给出常规公交线路功能分级阈值的研究方法，并以常州市为例，验证了方法的可行性。本文的研究，方便针对不同等级公交线路灵活执行不同的运营标准，也有利于对不同等级公交线路的配置进行优化。

【关键词】常规公交；功能分级；FCM 模糊聚类；GPS 数据

1 引言

近年来大中运量公交方式（如地铁、BRT、有轨电车等）的建设如火如荼，很多城市出现了大中运量公交方式和常规公交并存的公交系统。随着大中量公共交通系统的出现，常规公交系统功能将发生改变，迫切需要对大中运量公交系统下的常规公交线路功能进行分级，以提高常规公交系统的运营效率。

国内外关于公交线路功能分级的研究，更多的是从定性角度对公交线路进行功能分级，而对公交线路功能分级定量的研究相对较少。

本文以常州市公交系统为例，对 BRT 骨架系统框架下常规公交线路功能分级指标进行研究，确定公交线路功能分级指标的阈值范围，为城市公交经营管理者针对不同功能等级公交线路提供适应性的服务及相应保障提供参考依据，同时也为其他城市公交管理提供借鉴。

2 指标选择及功能分级

2.1 指标选择

本文从需求和供给两个方面对公交线路功能进行表征，其中公交需求由客运量等指标表征，公交供给由运送速度等指标表征。

2.1.1 客运量

受线路客流需求影响较大，线路客流需求越高，客运量相对越大，因此公交客运量可以表征公交线路需求的大小。

2.1.2 运送速度

运送速度快，便捷性越高，则公交供给水平相对越高，因此公交运送速度可以用来表征

公交线路供给水平的高低。

2.1.3 单向载客能力

《快速公共汽车交通系统设计规范》^[1]中划分快速公交系统的级别主要依据运送速度和单向客运能力两个指标。

表 1 快速公交系统的级别划分

特征参数	级别		
	一级	二级	三级
运送速度 (km/h)	≥25		≥20
单向客运能力 (万人次/h)	≥1.5	≥1.0	≥0.5

其中单向客运能力为单方向通过线路断面的客位数上限。本文研究对象为单条公交线路，借鉴快速公交分级指标，选取“单位时间内单方向线路发送车辆的客位数上限”作为分级指标，本文定义为公交线路单向载客能力。根据定义，单向载客能力为公交线路发车频率上限与车辆额定载客量的乘积。

综上所述，本文选取常规公交线路客运量、运送速度和单向载客能力三个指标来对常规公交功能等级进行表征。

2.2 功能分级

根据以上选择的分级指标，常规公交线路划分为以下三个功能层次：

第一层次线路：与大中运量公共交通共同构成城市公交线网的骨架，服务城市主要客流通道，客运量最大，单向载客能力最大，运送速度最大，提供最快速的服务，保证通道方向上的可达性与快速性。

一般加强中心城区与外围组团的交通联系，实现重要枢纽或者节点间主要客流的快速转移；该类线路便捷通畅度最强，一般为区域间客流快速通道。

第二层次线路：作为城市公交线网的主体，主要服务城市次要客运通道客流，客运量较大，单向载客能力较大，运送速度较大，提供较快速的服务。

一般为中心城区内或外围组团内部主要客流走廊服务，对第一层次公交线路起补充和联络作用；线路一般途经城市内主要客流集散点，对通畅、便捷度要求较高，可达性较强。

第三层次线路：作为城市公交线网的支撑，主要是为满足线网覆盖性要求和需求较小区域的公交出行而设置的线网，作为第一、二层次线网的补充，客运量最小，单向载客能力最小，运送速度要求最低。

一般为中心城区内或外围组团内的次要客流走廊服务，连接中心城区内部和各个外围组团内部的居住区与周边大型换乘枢纽和大中量公共交通的站点，对可达性要求最高。

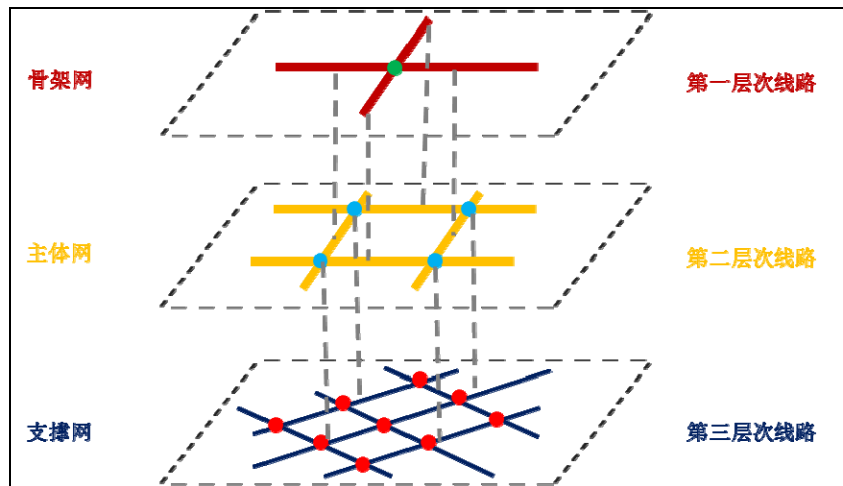


图 1 公交线路功能分级图

3 公交线路功能分级指标阈值确定方法

上文给出了公交线路功能分级的指标，并用所选的指标对公交线路功能进行定性的分级，本节将在此基础上对公交线路功能分级指标阈值进行研究，基于此对公交线路功能进行定量的分级。

3.1 客运量和单向载客能力指标阈值确定方法

3.1.1 研究思路

本文采用 FCM 模糊聚类的方法对客运量和单向载客能力的指标阈值进行研究。具体思路为：根据聚类结果中的隶属度矩阵可以判断出公交线路所属类别，根据各类中的指标特征可以判断出公交线路所属的功能等级，但对于类边界的公交线路需参照各等级公交线路的特征确定其所属的功能等级。在此基础上对公交线路进行功能等级划分，从而确定各等级公交线路客运量和单向载客能力的范围。

3.1.2 聚类因子的选择

本文的研究内容是公交线路的等级划分，聚类因子应选择对分类有明显影响的指标，且数量不宜过多。从可操作性的角度，还应确保所选聚类因子的可量化性和易收集性。基于以上分析，选择线路的客运量和单向载客能力两个指标作为公交功能分级的聚类因子。

3.1.3 聚类分析过程

论文运用 Fuzzy C-means 聚类分析法，同一类之间的距离采用欧几里得距离表示，使得基于类内距离和的目标函数最小为止，即当目标函数小于某个确定阈值，聚类结束。

具体流程为：

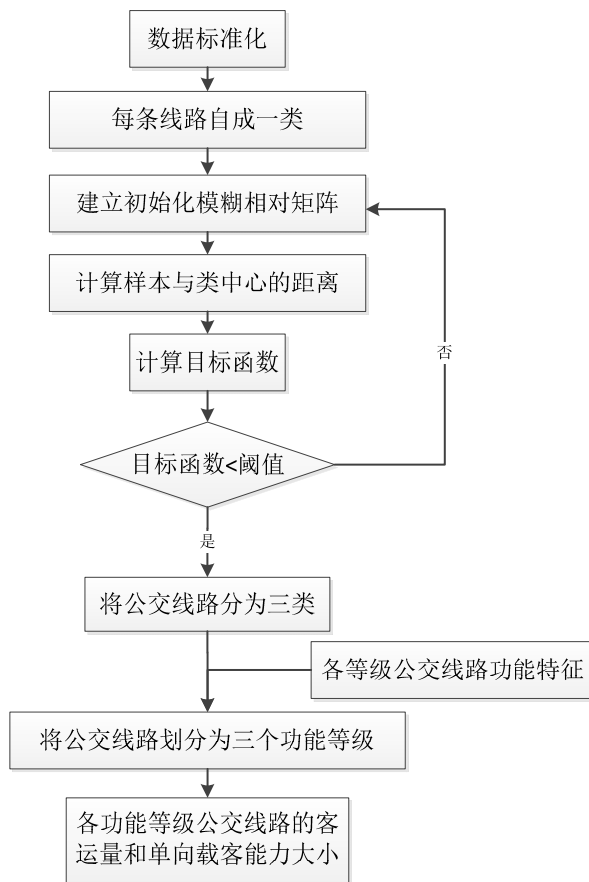


图 2 聚类分析流程图

3.2 运送速度指标阈值确定方法

3.2.1 研究思路

不同等级公交线路对运送速度的要求不同，等级越高对运送速度的要求也越高。本文研究的是不同等级公交线路对运送速度的要求，而现状不同等级公交线路运送速度无明显区别，无法直接从现状公交线路运送速度中直接得到结果。

公交运送速度与公交运行时间（车辆停站延误时间、交叉口延误时间和路段运行时间）有关，路段运行时间与道路因素、车辆因素、天气因素和人为因素有关。选取非阴雨天气的平峰 GPS 数据进行研究可以得到不同道路条件（道路等级和公交专用道）路段运送速度，可选取条件较好的路段平均运送速度作为研究，进而得到不同等级公交线路对运送速度的要求，具体思路如图 3 所示。

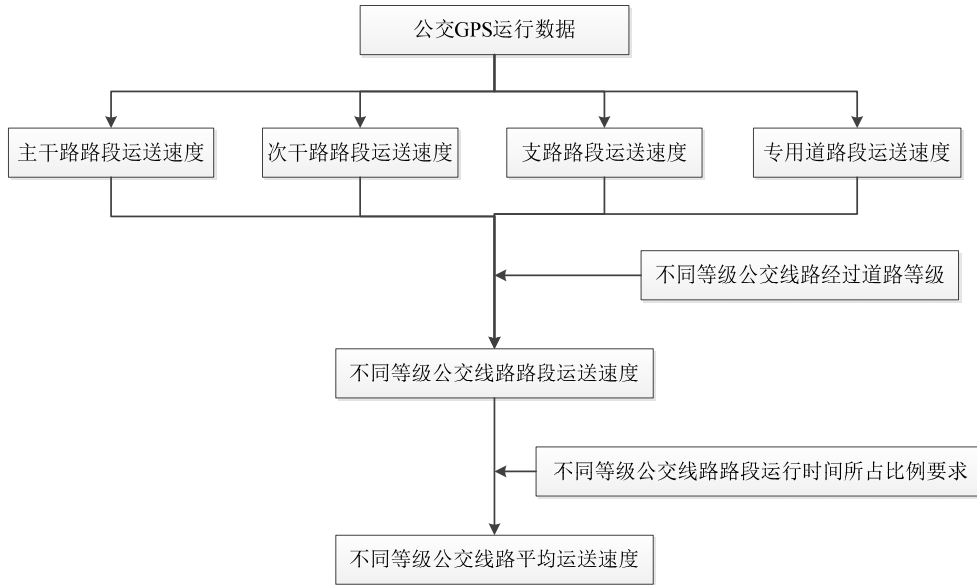


图3 基于公交GPS数据的公交线路运送速度研究路线图

3.2.2 研究路段确定方法

本文重点研究的是路段的运送速度，该路段不包括停靠站影响区和交叉口影响区，为了数据的准确性，交叉口和公交车站影响区宜取较大值，但考虑到实际运行道路的交叉口和公交站点的间距限制，本文选取交叉口和车站的影响区域为公交车站中心点和交叉口中心点两侧各50m范围作为其影响区，如图4所示。



图4 公交车站和交叉口影响区识别示意图

3.2.3 途经道路等级确定方法

不同功能等级的公交线路对速度要求不同，其运行的道路要求也不同。由于同一条线路可能经过不同等级的道路，本文选取占道路长度比例最高的一类道路等级作为公交线路主要途经道路的等级，如假设某条线路途经主干路的长度最长，则认为该线路途经道路等级是主干路，即主要在主干路上运行。根据公交线路功能分级的定性描述，结合《常规公交线网布局层次规划法及其应用》^[3]成果可知：

- (1) 第一层次公交线路主要在快速路或主干路上运行，需要设置公交专用道；
- (2) 第二层次公交线路主要在快速路、主干路或次干路上运行，可以设置公交专用道；

(3) 第三层次公交线路主要在快速路、主干路、次干路或支路上运行，不需要设置公交专用道。

3.2.4 路段运送速度计算方法

设公交线路在主干路、次干路和支路路段平均运送速度分别为 v_z ， v_c ， v_{zh} ，假设一条公交线路一半在主干路上运行，一半在次干路上运行，则路段平均运送速度 \bar{v} 为：

$$\bar{v} = \frac{l}{\frac{0.5l}{v_z} + \frac{0.5l}{v_c}} = \frac{v_z \cdot v_c}{0.5(v_z + v_c)} \quad (1)$$

3.2.5 路段运行时间所占比例确定

公交线路等级越高，要求公交运行时间越短。在路段运行时间一定的情况下，等级越高要求车辆停站延误时间、交叉口延误时间越短，相应则路段运行时间所占总运行时间比例越高。根据以往研究，公交车辆停站延误时间占总运行时间的 9%-20%，交叉口延误时间占总运行时间的 25%-33%^[2]，可见现状公交车辆的停站延误和交叉口延误时间占总运行时间的 34%-53%。本文取第一、二、三层次公交线路车辆停站延误时间和交叉口延误时间占总运行时间不超过 40%、45%和 50%。

3.2.6 运送速度计算方法

通过不同等级公交线路的路段速度范围和不同等级公交线路路段运行时间的比例，可以推算出不同等级公交线路的运送速度的范围，计算公式为：

$$\bar{v}_r = \bar{v} \cdot r \quad (2)$$

其中 \bar{v}_r 为公交线路平均运送速度， \bar{v} 为公交路段平均运送速度， r 为公交路段运送时间占总时间的比例。

4 实例分析

本文以常州市公交线路为例，选取市区常规公交线路（不含郊区线路和城郊线路）进行分析，研究在 BRT 系统下常规公交的功能分级指标的范围。

4.1 客运量和单向载客能力指标阈值确定

4.1.1 聚类数据收集

客运量可用公交日客运量表示，可由公交公司统计报表数据计算得到。单向载客能力为额定载客量和发车频率上限乘积，其中额定载客量可由公交公司直接获得，发车频率上限可

由公交公司网站或公交公司配班计划表获取的最小发车间隔计算得到。通过统计计算，剔除不完整的数据，得到部分线路的指标值，如表 2 所示。

表 2 公交线路聚类分析因子数据表

线路名称	单向载客能力 (人次/h)	日客运量 (人次)	线路名称	单向载客能力 (人次/h)	日客运量 (人次)
1	920	13994	56	920	14319
2	1104	25747	67	552	3669
6	1380	16214	69	552	5096
7	1840	18390	71	690	7960
8	1840	19167	74	552	5549
10	920	12001	75	460	6428
11	1380	21225	77	460	3502
12	920	17180	78	1104	11903
14	1380	27049	80	789	6208
16	1380	20964	98	460	2672
19	1104	13830	203	300	5471
20	690	7789	205	343	3949
21	690	10757	206	240	965
23	690	11137	210	480	7353
24	920	11573	212	600	8062
25	920	11487	215	120	505
28	552	4833	216	460	1803
29	920	16186	217	552	2825
31	920	11094	218	613	2346
33	1104	14249	219	480	8208
38	920	11689	220	480	7331
39	1380	15338	225	920	11863
42	1104	12196	229	171	1733
43	552	5234	231	600	5482
45	920	8389	232	300	3994
46	789	6412	258	920	9363
47	789	10815	260	240	1559
50	690	6514	271	276	640
51	552	2605	272	276	1083
52	1104	15322	302	1380	36205
53	920	9288	502	80	448
55	920	11459	503	552	7440

注：现状常州常规公交车型中，中型车（空调车和非空调车）额定载客量为 92 人，小型车额定载客量为 40 人。

4.1.2 聚类结果分析

运用 Matlab 软件的模糊聚类工具箱，根据表 2 中的聚类因子数据对公交线路进行聚类分析，将公交线路聚类为 3 类，结果如表 3 所示。

表 3 公交线路功能等级聚类结果表

类别	线路名称	单向载客能力均值 (人次/h)	日客运量均值 (人次/日)
1	2/6/7/8/11/14/16/302	1440	23120
2	1/10/12/19/21/23/24/25/29/31/33/38/39/42/ 45/47/52/53/55/56/71/78/225/258	940	12220
3	20/28/43/46/50/51/67/69/74/75/7780//98/203/2 05/206/210/212/215/216/217/218/219/220/229/ 231/232/260/271/272/502/503	460	4300

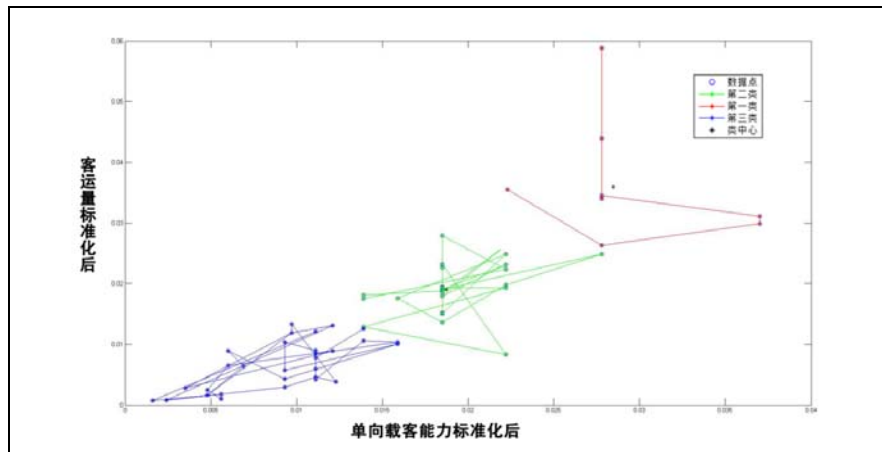


图 5 聚类结果分类图

4.1.3 指标阈值确定

由图 5 可见，类边界存在交织，分界较为模糊，需要根据公交线路功能分级的定性描述结合公交线路途经的用地性质等来进一步判断其所属等级。

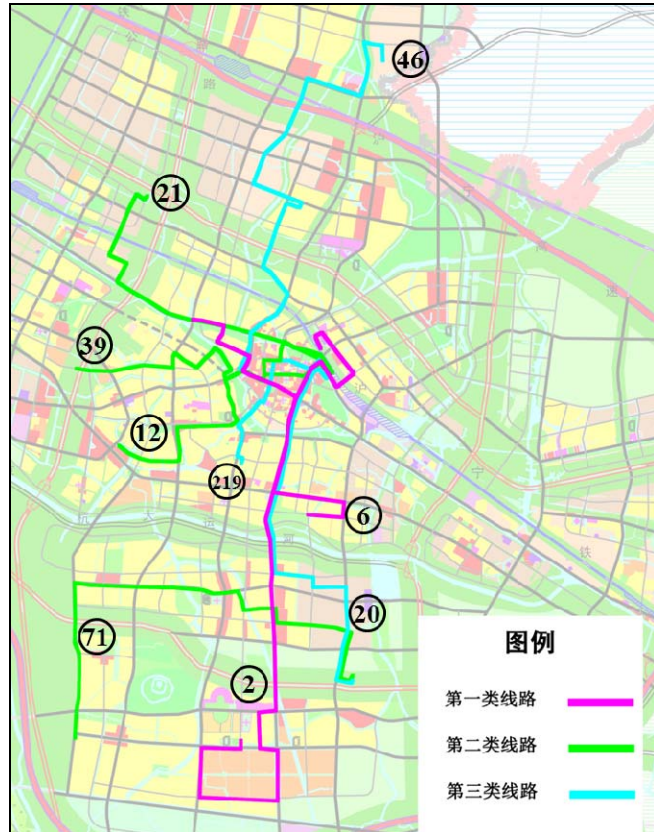


图 6 功能表征指标存在交叉的线路分布图

根据聚类结果挑选出类边界的存在交叉的公交线路如图 6 所示。其中 2 路公交贯穿常州市区，客流需求充足，在主要客流走廊上，按照不同等级公交线路的功能特征可知 2 路属于第一层次公交线路；6 路途经市区主要的客流集散点，客流需求充足，属于第一层次公交线路。同理可判断，12 路、21 路、39 路和 71 路属于第二层次公交线路；20 路、46 路和 219 路均属于第三层次公交线路。

根据以上的分析最终确定公交线路的功能分级情况如表 4 所示。

表 4 常州市公交线路功能分级汇总表

线路名称	公交线路功能等级
2/6/7/8/11/14/16/302	第一层次公交线路
1/10/12/19/21/23/24/25/29/31/33/38/39/42/45/47/52/53/55/56/71/78/225/258	第二层次公交线路
20/28/43/46/50/51/67/69/74/75/7780//98/203/205/206/210/212/215/216/217/218/219/220/229/231/232/260/271/272/502/503	第三层次公交线路

由常州市公交线路功能分级的结果，可以知道常州市不同等级公交线路日客运量和单向客运能力的阈值（取整后），如表 5 所示。

表 5 常州市公交线路功能分级指标阈值表

特征参数	级别		
	第一层次线路	第二层次线路	第三层次线路
单向载客能力 (人次/h)	≥ 1100	≥ 700	≤ 800
日客运量 (人次/日)	≥ 16000	≥ 7900	≤ 8300

4.2 运送速度指标阈值确定

4.2.1 研究路段选择

本文以常州 2 路公交为例，如图 7 所示。

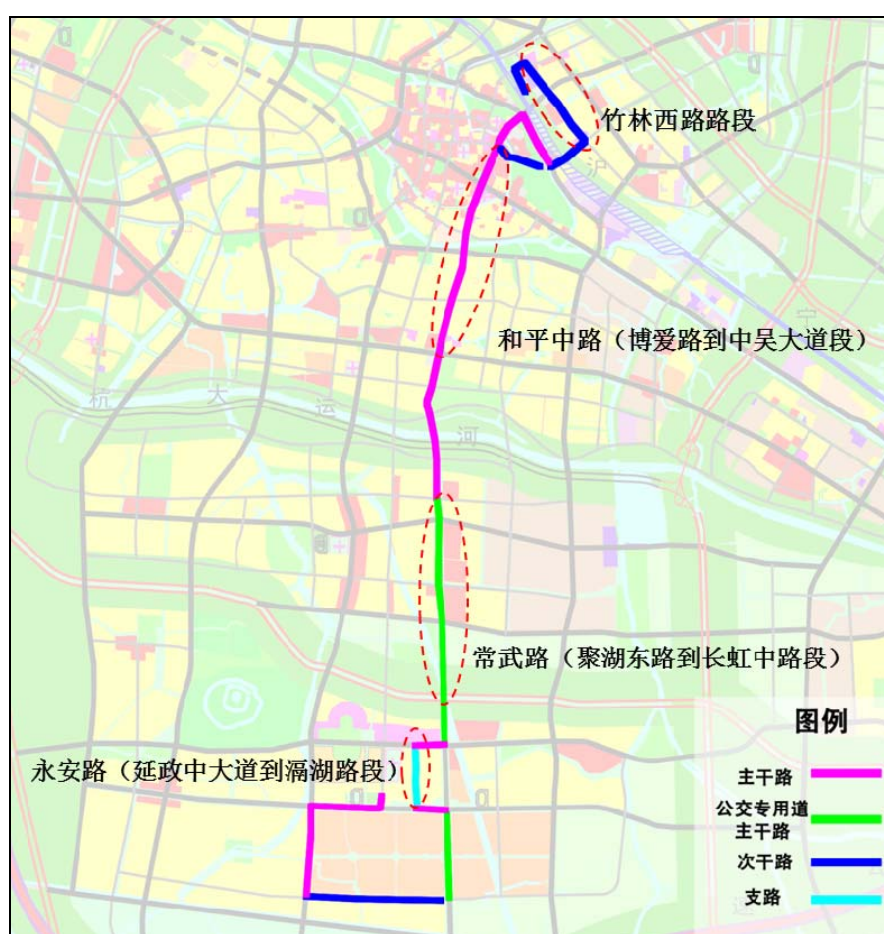


图 7 常州公交 2 路分析路段示意图

具体研究路段为：

主干路：明都大饭店站到和平北路和罗汉路交叉口路段；

次干路：常州客运中心站到红梅街道站路段；

支路：永安花苑站到永安路滆湖路站路段；

设置公交专用道主干路：和平路长安路站到和平路和虹北路交叉口路段。

由于公交上下行站点位置不同，经纬度也不相同，本文只列出滆湖路首末站到常州客运中心站方向的站点经纬度信息。以上所选的站点和交叉口中心的经纬度为：

明都大饭店站 (119.9616, 31.7814), 和平北路和罗汉路交叉口 (119.9649, 31.7765), 常州客运中心东站 (119.9724, 31.7873), 红梅街道站 (119.9772, 31.7838), 永安花苑站 (119.9506, 31.6941), 永安路漏湖路站 (119.9558, 31.6884), 和平路长安路站 (119.9532, 31.7112), 和平路和虹北路交叉口 (119.9579, 31.7068)。

4.2.2 研究时间选择

本文选取工作日平峰时刻的速度进行研究, 由于数据量较大, 本文只选取 2 路的 10 辆公交车 2012 年 1 月 11 日 (星期三, 天气多云) 的 GPS 数据进行研究。

通过对常州 2 路公交车 IC 卡数据的分析, 可以知道 2 路的客流平峰出现在 9:00-16:00, 如图所示, 以此推测 2 路公交车途经道路在 9:00-16:00 时出现平峰, 道路交通量较少, 道路状况较佳, 因此本文选取 9:00-16:00 时段进行研究。

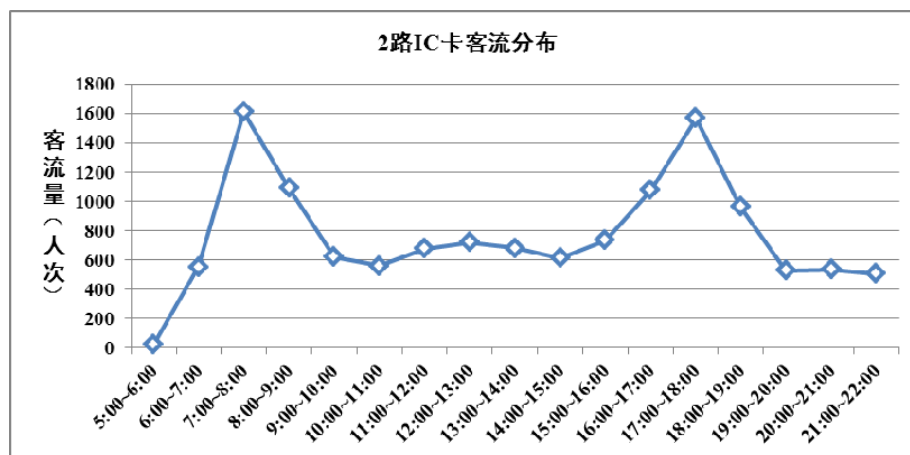


图 8 常州 2 路公交 IC 卡客流分布图

4.2.3 GPS 数据分析

根据 GPS 原始数据, 在预处理的基础上, 筛选出位于不同路段的 GPS 数据进行研究。

为了准确地计算出各个路段的平均运送速度, 本文选取同一路段中相邻的两组 GPS 数据的经纬度值计算距离, 然后把所有距离相加得到该路段的长度, 根据同一路段的首尾两组 GPS 数据的时间差计算该路段运行时间, 由此可得路段平均运送速度, 具体如表 6 所示。

表 6 各路段的平均速度汇总表

序号	主干路公交专用道 路段速度 (km/h)	主干路路段速度 (km/h)	次干路路段速度 (km/h)	支路路段速度 (km/h)
1	43.2	39.3	36.4	44.7
2	37.7	43.0	34.5	35.9
3	46.5	49.9	43.7	34.9
4	32.4	31.7	34.1	33.6
5	38.8	39.2	39.0	32.4
6	42.9	30.2	44.8	35.0

7	41.0	38.5	38.3	26.9
8	45.1	39.0	45.8	39.9
9	44.2	41.8	47.0	34.9
10	43.2	36.4	35.2	31.6
11	42.1	43.9	44.0	38.2
12	31.1	41.6	37.4	34.8
13	36.7	49.9	33.6	41.7
14	35.9	33.1	28.6	30.9
15	40.1	44.6	37.8	37.4
16	43.8	37.0	38.1	33.6
17	38.6	35.4	34.1	46.2
18	44.9	36.7	36.1	36.8
19	42.8	42.6	36.7	35.6
20	41.2	36.7	36.4	33.8
21	41.2	34.7	42.7	36.4
22	46.7	37.2	36.2	40.9
23	45.6	36.4	45.5	46.2
24	41.0	40.9	31.5	33.2
25	42.3	27.5	40.9	32.2
平均值	41.2	38.7	38.3	36.3

本文选取各路段所有统计的速度平均值作为参考值,因此可以得到不同等级道路上公交运送速度的参考值取整后分别为:公交专用道主干路路段速度为 41km/h,主干路路段速度为 39km/h,次干路路段速度为 38km/h,支路路段速度为 36km/h。

4.2.4 路段平均运送速度确定

根据以上分析可以知,第一层次公交线路至少一半在主干路上运行,则路段平均运送速度最小的情况为一半在主干路上运行,一半在支路上运行,即第一层次公交线路路段平均运送速度 \bar{v}_1 范围为:

$$\bar{v}_1 \geq \frac{v_z \cdot v_{zh}}{0.5(v_z + v_{zh})} = \frac{39 \times 36}{0.5 \times (39 + 36)} = 37.4 \text{ (km/h)}。$$

第二层次公交线路至少一半在次干路上运行,则路段平均运送速度最小的情况为一半在次干路上运行,一半在支路上运行,即第一层次公交线路路段平均运送速度 \bar{v}_2 范围为:

$$\bar{v}_2 \geq \frac{v_c \cdot v_{zh}}{0.5(v_c + v_{zh})} = \frac{38 \times 36}{0.5 \times (38 + 36)} = 37 \text{ (km/h)}。$$

第三层次公交线路运送道路无要求,但路段平均运送速度最小的情况是全部在支路上运行,即第三层次公交线路路段平均运送速度 \bar{v}_3 范围为: $\bar{v}_3 \geq v_3 = 36 \text{ (km/h)}。$

4.2.5 公交线路运送速度范围界定

根据公式（2）计算，结果如表 7 所示。

表 7 不同等级公交线路平均运送速度值表

	第一层次 公交线路	第二层次 公交线路	第三层次 公交线路
路段平均运送速度 (km/h)	≥37.4	≥37	≥36
停站延误和交叉口延误总时间占总运行时间比例 (%)	40	45	50
路段运行时间占总运行时间比例 (%)	60	55	50
平均运送速度 (km/h)	≥22.4	≥20.4	≥18

根据表 7 可知，所有公交线路的平均运送速度达到 20km/h，满足国办发（2005）46 号文规定的要求。

4.2.6 功能分级指标阈值

结合前文研究，得到常州公交线路功能分级的指标阈值（取整后），具体如表 8 所示。

表 8 常州市公交线路功能分级指标阈值表

特征参数	级别		
	第一层次线路	第二层次线路	第三层次线路
单向载客能力 (人次/h)	≥1100	≥700	≤800
日客运量 (人次/日)	≥16000	≥7900	≤8300
平均运送速度 (km/h)	≥22	≥20	≥18

该指标阈值可为常州公交的现状评价及改善提供依据。根据单向载客能力和日客运量两个指标结果可判断已有某条线路所属的功能等级，基于此城市公交管理者可对不同等级公交线路提供适应性的服务及相应保障并对现状公交线路的配置进行优化。同时上述的指标阈值还可以用于评价常规公交线路速度是否满足功能要求，对于未满足功能要求的线路采用相应的优化措施提升运送速度。

5 结语

公交线路功能分级指标的合理选择和阈值确定，有利于公交线路功能等级划分。本文首先选取了客运量、单向载客能力和运送速度三个指标对公交线路功能分级进行表征，并基于此给出大中运量公交系统下常规公交线路功能分级指标的定性描述，在此基础上给出了基于公交公司报表数据、GPS 数据的公交线路功能分级指标阈值的研究方法，并以常州为例验证了方法的可行性，该方法不仅适用于常州还适用于其他城市。通过所得的结论可以有效地将大中运量系统下常规公交线路进行定量的划分，有利于城市公交管理者针对不同等级公交线路提供适应性的服务及相应保障。

【参考文献】

- [1] 中华人民共和国行业标准.快速公共汽车交通系统设计规范（CJJ136-2010）[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部.2010:1.
- [2] 王俊,陈学武.影响城市公交车辆运行时间的因素分析及改进措施[J].城市公共交通,2004,(1):6-7.
- [3] 陆建,胡刚.常规公交线网布局层次规划法及其应用[J].城市交通,2004,2(4):34-37.

【作者简介】

许威，男，硕士，悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司，助理工程师。电子信箱：978355728@qq.com

陈学武，女，博士，东南大学城市智能交通江苏省重点实验室、现代城市交通技术江苏高校协同创新中心，教授，博士生导师。电子信箱：chenxuewu@seu.edu.cn

杨阳，男，硕士，悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司，助理工程师。电子信箱：543619636@qq.com