

基于交通流量数据估算多种交通方式指标的方法

背景

用户拥有深圳市2018年4月的一组城市道路交通数据，每条记录包含路段ID、道路类型、行政区、时间和日期属性，以及交通流量指标（总车辆数GOCOUNT、平均速度、流量、密度、拥堵速度等）。然而，该数据仅给出了整体的车辆情况，并未细分不同交通方式（如两轮电动车、公交车、摩托车、步行者）的流量和速度。为了进行更深入的交通拥堵和路况分析，用户希望根据现有的总流量数据，快速而合理地拓展出各交通方式的**数量**和**行驶速度**估计值。

由于并不需要非常精细的时间粒度分析（例如无需细化到每5分钟），我们倾向于基于**总体特征和典型比例**来进行估算。下面将介绍如何利用公开的交通**方式分担率**（各出行方式所占比例）、不同道路类型的**车辆构成特征**、**平均载客率**以及**典型速度假设**等信息，来制定映射公式，帮助估算每条记录中电动两轮车、公交车、摩托车和步行者的数量与速度。

城市交通方式分担率参考

首先，需要了解深圳及类似城市的交通方式构成比例，以确定各方式的大致占比。这些比例通常来源于交通调查或官方统计，称为**出行分担率**或**模式分担率**。如果深圳本地的数据无法直接获取，可以参考北京、广州、上海、杭州等城市或全国平均的出行结构。

- **深圳市**（2018年前后）：作为改革开放的特大城市，深圳的公共交通出行占比较高，私家车占比较低，步行和非机动车也占一定份额。据官方发布，2018年深圳高峰期公共交通出行分担率超过60%^①。这包含地铁、常规公交、有轨电车和巡游出租车等机动公共交通。深圳提倡绿色出行，全方式计算的“绿色出行”比例（包含公共交通+自行车+步行）达到约77%^②。其中，私人小汽车出行比例约为26.5%^②，自行车（含共享单车和电动自行车）出行比例约为8.2%^②。根据新一轮居民出行调查，全市电动自行车出行分担率提升至约7%^③，表明在深圳的出行结构中，两轮电动车已经占据相当比重（可能主要是快递外卖等通勤）。步行出行的比例未直接给出，但可以推算出在15%左右（因为绿色出行77%减去公共交通和自行车的占比）。
- **北京**：北京作为超大城市，近年大力提升慢行和公共交通出行比例。最新数据显示北京市自行车出行比例从2019年的12.1%上升到17.3%^④。北京的公共交通（含地铁公交）在机动化出行中的比重约50%上下，步行出行也有约两成的比例。据报道，北京2019年步行+自行车出行合计约30%，其中步行约12%、自行车约18%^④。北京的私家车出行率则在30%左右。
- **杭州**：杭州是另一参考城市，常被称为“电动车王国”。有数据显示，杭州全方式出行中公交分担率仅18%-23%（因区域而异），小汽车出行比例约27%，但由于杭州居民步行和骑行出行比例很高，机动化出行方式中小汽车占比达55%^⑤。这意味着在杭州这类城市中，步行和非机动车（主要是电动自行车、自行车）合计超过五成，是不可忽视的出行方式。杭州的经验表明，大城市中合理的小汽车全方式占比应低于20%^⑤，需要有相当比例的公交和慢行交通来分担。
- **广州/上海**：广州和深圳相似，也是公共交通占比较高、中心区限制摩托车的城市。上海早些年自行车出行比例一度下降到7.3%（2014年）^⑥但共享单车兴起后有所回升；上海公共交通和步行占比较高，私人机动车出行受到牌照限制，相对比重不算高。广州的公交+地铁也较发达，自行车（含电单车）出行率估计在5-10%的区间。总体来说，一线城市中，**机动公共交通**通常承担约五至六成出行、**步行和非机动车**大致各占一到两成不等、**私人机动车**占两到三成左右^{②⑤}。

小结：深圳本地的出行结构具有一定代表性——公共交通>50%，步行和非机动约20%左右，私人车辆约20-30%。在没有精确本地数据时，可采用这一量级的比例作为依据，根据道路类型和场景进行修正。接下来将利用这些比例，结合道路和车辆信息，提出具体的映射计算方法。

映射思路与公式

根据以上掌握的交通方式分担率以及道路交通特点，我们可以制定一套从总车辆数和平均速度等数据推算各方式数量与速度的方法。核心思想是**先按比例分解总流量为各交通方式的流量/数量**，再为每种方式赋予合理的**行驶速度**。具体考虑如下几个方面：

1. 根据模式分担率拆分流量

利用总体的交通方式占比，将总车辆数（GOCOUNT或流量）按比例划分给各类别车辆。具体做法是：- **公交车数量**：假定在所考虑的道路和时间段内，公交车约占一定比例的交通流。例如，城市主干道上公交车辆可能约占5%左右（实际视公交线路密度而定）。那么可以用公式： $\text{公交车数} = \text{总车辆数} \times \text{公交车占比}$ 。在深圳高峰期，虽然公共交通承载了约60%的出行者，但由于每辆公交车运载多人，公交车在车流中的**辆数占比**其实相对很小^①。例如，在1000人中有600人乘公交，以单车40人计只需15辆公交车，而另外400人若开私家车（1辆车1.5人）需要约267辆车，总车流282辆中公交仅约5%^①。因此在估算时可取**公交车辆数占比在2%~5%之间**（干线道路取高值，次干路或非公交线路取低值）。- **两轮电动车数量**：电动自行车（含电动摩托/电单车）在中国城市已经是重要交通方式，占有可观比重。深圳全市电动两轮车出行约占7%^③；在非机动车道流量中，电动自行车的数量往往不低於传统自行车^⑦。为估算路段上的电动车数量，可假设**电动车车辆占比在5%~15%范围**：城市干道因限行和安全管理，电动车可能占比偏低（有些主干道非机动车道流量占机动车道的不到10%），而在次支路、生活街道上电动自行车可能非常常见，占车辆数的两成以上。在深圳，由于部分主城区可能限制摩托车但允许电动自行车，快递外卖等车辆主要是电动两轮车，这类道路电动车流量可按总车流的一定比例加入。如果缺乏具体测算数据，可以参考城市非机动车化出行7%这个量，将**总车辆数GOCOUNT提高约7%**（即假设每100辆机动车同时还有约7辆电动自行车在道路上）作为估计。^{②③}- **摩托车数量**：深圳等一线城市多年来严格“禁摩”（限制燃油摩托车上路），所以市区内摩托车流量很低，可近似为零或忽略不计^⑧。若分析对象包含郊区或其他允许摩托行驶的城市，可根据情况加入摩托车占比。对于南方一些未完全禁摩的城市，摩托车出行在城市道路上占比一般也不大（通常几个百分点以内）^⑧。因此，可设**摩托车车辆占比在0%~5%左右**（深圳市内取0，其他城市酌情取非零小值）。- **步行者数量**：步行不是“车辆”，但我们可以用模式分担率推算经过该路段的步行人流量。假设某行政区或路段周边出行中步行占约15%，那么在一定时间内通过此路段的总出行者中，约有类似比例的人是行人。粗略方法是将步行视为总出行量的一部分： $\text{步行人数} \approx (\text{步行出行占比} / \text{机动出行占比}) \times \text{机动出行人数}$ 。例如，如果步行占20%，机动车+非机动车占80%，那么步行者数量大约相当于 $0.2/0.8=0.25$ ，即每有4个乘车的人就有约1个步行人^⑤。可以将**机动出行人数**近似估计为GOCOUNT乘以平均车辆载客数（见下节），再按上述比例求得步行者数量。需注意步行者的空间分布和线路选择与机动车不同，此估计仅提供量级上的参考。

将上述分担率应用到具体记录时，需要结合道路类别和时段调整。例如，高速公路/快速路应设置电动车和行人数量为0（禁止行人和非机动车），公交车比例也较低；主干道在高峰期公交车和电动车占比可取偏高值；支路小街可能公交车很少但电动车和步行相对更多。通过这些规则，就能从“总车辆数”推算得到**电动车辆数、公交车辆数、摩托车辆数和步行者数量**四个字段的估计值。

2. 考虑道路类型下的车种构成

不同**道路类型**和**功能等级**的路段，通行的交通方式构成往往不同，应做差异化处理^⑧。我们可以引入道路类型这个字段，对上一节得到的初步占比进行修正：

- **高速公路、快速路**（城市快速路、封闭式干道）：这类道路禁止行人和非机动车进入，因此**步行者数=0，电动车数=0，摩托车数=0**（若当地允许摩托上高速则另计）。交通流基本由小汽车和客货车组

成，少量公交车辆（长途客运、大巴）可能出现但占比很小。在估计时，高速路段可令公交车占比取下限（例如1-2%或根据班次确定绝对辆数）。

- **主干道**（城市干道/次干路）：通常有机非隔离或设有非机动车道，行人可通过人行道和过街设施活动。在这些道路上，可预计**公交车占比中等**（例如3-5%，视该路是否有多条公交线经过），**电动自行车占比中等**（例如5%左右，如果设有非机动车道则电动车多沿非机动车道行驶，和机动车流量关系不大），**摩托车占比极低**（如深圳取0，其他城市<2%），**行人数量**则取决于周边土地使用和设施。商业繁华路段步行量很大，可能远超过车辆数；一般道路可按全市平均或略低于平均的步行出行比率估计。需要提醒的是，GOCOUNT通常来源于机动车检测设备，并不直接包含在路侧行走的行人和非机动车数量，所以这里添加的电动车和步行者数量是为了综合分析方便而加入的“估计”值。
- **次支路、生活街道**：这些道路公交车很少（很多小街巷无公交线路，可令公交车数≈0），但因为贴近居住区和商业区，**电动车和自行车**可能非常普遍（占车辆数的两位数比例）。可以提高电动车占比至10%以上视情况而定⁷。**步行者**在这类街道也很多，可能接近甚至超过机动车数量（比如商业街区人流量极大）。如果有行人过街统计或人行传感器数据最好，没有的话可以参考片区的人口密度和出行率来估算。如每小时每公里街道人行道上平均可能有数百人经过，在数据中可按经验赋值。

通过以上基于道路类型的调整，我们对各路段**分配不同的占比参数**，从而更贴近实际。例如，“行政区=福田，路段类型=主干道”的记录，可能使用公交5%、电动车5%、步行15%的比例；而“高速公路”记录则使用公交1%、电动车0%、步行0%。这些比例可根据城市管理部门或文献提供的典型**车流构成**数据进行微调。如果有政府公开的道路交通年报，其中可能提到“**机动车、非机动车各占多少**”、“**高峰时段公交专用道公交车辆数**”等，可据此校准我们的假设值。

3. 利用平均载客率换算车辆与人数

在将总车辆拆分成不同类型车辆时，考虑**平均载客率**有助于确保逻辑一致。例如，一辆公交车承载的人数远多于一辆小汽车，步行者每人即是一“单位”，电动车一般每辆载1人。因此，在采用**出行分担率（按人次）**来推导**车辆占比**时，需要折算：

- **小汽车**（含私家车、出租车等）：平均乘坐人数常取~1.2-1.5人/车，根据通勤和非通勤情况可有差异¹。高峰通勤时平均接近1.2（多数人独驾），非高峰或家庭出行可能达到1.5。我们可取 $O_{car}=1.3$ 作为平均每辆小汽车承载人数。
- **公交车**：普通公交车高峰满载约**40-80人/车**（较接大巴更多），一般运行中载客约20-40人。若不知道具体线路情况，可取 $O_{bus}=30$ 人/车作为全日平均。
- **电动自行车/摩托车**：基本按**1人/车**，有时电动车可能载1名乘客但较少见，忽略不计。
- **步行者**：**1人/“车”**，本身就是出行人次单位。

考虑载客率后，可以使用**出行人数份额**来计算车辆数量份额。例如，上文提到的在1000人中，有60%乘公交、40%乘小汽车的情形：乘公交人数=600人，相当于约 $600/30 \approx 20$ 辆公交车；乘小汽车人数=400人，相当于约 $400/1.3 \approx 308$ 辆小汽车。这样合计车辆≈328辆，其中公交车约占 $20/328 \approx 6\%$ （而按人次算公交是60%）

¹。类似地，可对步行和电动车进行验证：若有X人步行（这些人不产生车辆）、Y人骑电动车（则有Y辆电动车）。利用这种方法，可以检查我们之前直接按车辆比例假设的合理性，并进行调整。

在实际计算中，可以采用如下步骤：

1. **估算机动出行总人数**：如果需要将步行者纳入分析，可先估计同时经过该路段的总人数。举例来说，若某记录GOCOUNT=100辆（主要为机动车），假设平均每辆车有1.3人，则机动车乘客约130人。如果再估算出其中公交车有5辆，每辆30人，则公交乘客150人，总机动出行人数≈280人。
2. **按人员分担率分配人数**：基于城市出行模式，例如步行占15%，则对应步行人数≈ $0.15/0.85 \times 280 \approx 49$ 人（因为0.85是非步行部分，即机动+自行车部分占85%）。同理，若自行车+电动车占总出行10%，则非机动车骑行人数≈ $0.10/0.90 \times (280+步行49) \approx 31$ 人（可近似对应电动车车辆31辆）。
3. **折算回车辆数**：将上述得到的各方式人数再除以各自平均载客量，得到各方式车辆。步行不需要折算。电动车人数31即约31辆，公交乘客150是5辆公交（已知），小汽车乘客余下约130人对应~100辆车（与原GOCOUNT一致，形成闭合验证）。

通过这一程序，可以确保各方式估算值在总量上自洽。不过，在没有必要严格守护人数一致性的情况下，也可以直接依据经验比例来赋值车辆数量字段，毕竟这些估算本身就存在误差范围。载客率的主要作用是提醒我们：**公共交通乘客占比高并不意味着道路上公交车占比也高**（每辆公交替代多辆小汽车）；反之，电动车和步行占比直接反映数量占比，因为基本是一人对应一车或一步行。

4. 各方式行驶速度的合理假设

有了各类型交通工具的数量，我们还需为它们赋予**行驶速度**。速度的选取应结合道路限速、交通流状况以及车辆本身性能：

- **电动自行车速度**：中国法规规定电动自行车最高设计时速为25公里/小时⁹。实际行驶中，很多电动车在城市道路约以20km/h左右巡航，一些经过改装的电动车能达到30~40km/h⁹。在估算中，可设定**电动车平均速度约20~25 km/h**。若该路段机动车平均速度低于20（严重拥堵缓行），电动车可能受阻或需频繁绕行，实际速度也会下降（但在有自行车道的情况下，电动车不受机动车拥堵影响，仍可维持接近设计速度）。一种处理方式是：**取电动车速度为 $\min(25, \text{道路平均速度} \times 80\%)$** ，即在通畅路段上限25km/h，在拥堵路段则略低于机动车速度以反映启动/穿行耗时。
- **公交车速度**：公交车速度一般低于小汽车，因为要停站和上下客。深圳常规公交线路的总体平均运行速度约为17 km/h¹⁰；高峰期有30%以上的公交线路平均速度低于15 km/h¹⁰。而少数快速公交或有专用道时速可接近30 km/h¹¹。可以根据**拥堵速度**字段来调整公交速度：当道路处于畅通/基本畅通（如平均车速接近道路设计速度），公交车可能达到**20~25 km/h**运行；当道路拥堵（平均速度接近“拥堵速度”下限），公交车可能降至**10~15 km/h**。保守估计可给定**公交车平均速度=15 km/h**作为一般值，或更加动态地**取公交速度=道路平均车速的0.7倍**（因为公交停靠损失时间）。例如，道路平均车速30 km/h，则估计公交车约21 km/h；若道路仅有15 km/h慢行，公交可能只有约10 km/h有效速度。
- **摩托车速度**：摩托车（若存在）的行驶速度接近机动车，小幅高于小汽车**平均速度**，因为摩托车体积小可以在车流中灵活穿行。在通畅路段，摩托车可轻易地以40-50 km/h行驶，但在拥堵时也会被堵在人流车流中或受限安全无法过快。为了简单起见，可设**摩托车速度 \approx 道路平均车速**（例如等于小汽车平均速度），在部分情况下摩托车能够达到略高于平均的速度上限但这里不细化。
- **步行者速度**：行人步行速度取决于人群特征，一般成年人典型步速在**1.0~1.2米/秒**（约3.6~4.3 km/h）¹²。在交通工程设计中，经常采用1.2 m/s作为正常行人过街速度，若老年人比例较高则采用1.0 m/s¹³。因此我们可简单取**步行速度=5 km/h**左右作为平均值。需要注意这是移动速度，不包含等待红灯或停留的时间。如果分析需要考虑过街延误，可进一步在仿真中施加行人信号等待时间；但就路段平均速度字段而言，我们提供5 km/h作为步行者沿路移动的参考速度。

速度字段的融合：最终，每条记录将产生“电动车速度、公交车速度、摩托车速度、步行速度”这四个估计值。它们可以用于分析不同交通方式在该路段上的通行效率。例如，若某记录平均车速只有10 km/h但电动车速度设定20 km/h，则提示该路段非机动车可能比机动车更快（这在严重拥堵且自行车道顺畅时是可能的）。相反，步行速度5 km/h远低于任何车辆速度，可见行人在空间上更灵活但速度明显慢于车辆。通过这样的速度对比，可以拓展对路况的理解。例如计算“公交与小汽车速度比”可以衡量公交运行效率¹⁰，“电动车与机动车速度差”可以反映非机动车道或混行状况下慢行的优势或劣势。

结果整合与应用建议

按照上述方法得到的各交通方式**数量**和**速度**，可以作为原始数据表的扩展字段。为了方便结合分析，建议按照以下方式整合：

- **新增字段**：为每条路段记录新增8个字段：
 - `est_bus_count`（估计公交车数量）、
 - `est_bus_speed`（估计公交平均速度）、
 - `est_ebike_count`（估计电动自行车数量）、
 - `est_ebike_speed`（估计电动自行车速度）、
 - `est_moto_count`（估计摩托车数量）、

- `est_moto_speed` (估计摩托车速度)、
- `est_walk_count` (估计步行者数量)、
- `est_walk_speed` (估计步行速度)。
- **基于原始字段计算：**这些估计值主要基于原有的GOCOUNT和平均速度字段计算而来，同时参考了道路类型和是否周末等属性做调整。例如，可以编写一个函数按照道路类型选择相应的车辆构成比例，然后用GOCOUNT乘以比例得到各种车辆的数目。步行者数量则根据上述模式份额算法，用GOCOUNT折算的出行人数再乘以步行出行率得到。
- **示例：**假设一条记录为“深圳某主干路，工作日早高峰，GOCOUNT=120辆，平均速度=30 km/h，密度=45 辆/公里”。我们可以推断此为繁忙干道，选取参数：公交车占5%、电动车占8%、摩托车占0%、步行出行占15%（由于是市区主干路，人流不小）。则：
 - `est_bus_count = 120 × 5% ≈ 6 辆`，
 - `est_ebike_count = 120 × 8% ≈ 10 辆`（这些电动车可能未被原始感应器计数，但我们将其加入分析），
 - `est_moto_count = 120 × 0% = 0 辆`，
 - 此时小汽车和货车约104辆（剩余部分，占87%）。
 - 若考虑步行人数，占总出行15%，可估计机动出行人数≈120×1.3人/车=156人，加上假设电动车10辆共10人，共166人对应这些车辆。步行者≈0.15/0.85×166≈29人，故 `est_walk_count ≈ 30 人`。
 - 速度方面，`est_bus_speed` 我们取道路均速30的0.7倍，约21 km/h；`est_ebike_speed` 由于30高于25上限，取25 km/h；`est_moto_speed` 设为30 km/h（同机动车均速）；`est_walk_speed` 固定5 km/h。^{9 10 12}
- **结合拥堵分析：**有了以上估计，可以进一步计算诸如单位时间各方式通过的人数（例如公交车数×30人等），从而评估不同模式的输送效率；或者计算拥堵情况下慢行比例等。例如，步行和电动车在严重拥堵路段是否提供了更有竞争力的通行时间？这些都可以从估计数据中得出初步结论。
- **数据校验和调整：**建议将估算结果与现实校验。如有条件，利用现场调查或更细分的数据（比如一些路段可能有公交车实际班次表、行人过街流量观测值等）对估计进行修正。例如发现某路段实际公交车每小时通过10辆而我们估计6辆，则可针对类似路段提高公交占比参数。调整后的模型将更符合本地实际情况。

综上，通过参考权威统计^{1 2}和相关文献数据⁵并运用合理的假设，我们能够在无需逐分钟精细模拟的情况下，为每条路段记录补全电动车、公交车、摩托车和步行者的数量与速度估计值。这些派生指标能丰富交通拥堵与路况分析，例如识别出某些路段是**公交车滞留**导致拥堵还是**小汽车过量**导致，以及非机动车和行人交通在城市交通中的作用等。在实际应用中，请根据当地最新的调查数据不断校正映射公式，使之更精确地反映交通出行结构的变化趋势。^{1 3}

¹ 深圳公共交通日均客运量超千万人次-鹏城国资-深圳市人民政府国有资产监督管理委员会网站

http://gzw.sz.gov.cn/zwgk/qt/pcgz/content/post_4786148.html

² 南方财经网 - 南方财经全媒体集团

<https://m.sfccn.com/2020/11-18/1NMDE0MDVfMTYwNjg1NA.html>

³ 前沿热点| 深圳市电动自行车交通管理关键问题及应对策略探讨

<http://www.sutpc.com/news/jishufenxiang/806.html>

⁴ 交通大家谈 | 自行车回归城市，更多市民绿色出行

<https://xinwen.bjd.com.cn/content/s64658165e4b085a329efdf21.html>

⁵ 杭州限行取消是否到时候了③|杭州构建的公共交通网能否承受放开“限行”之重-杭州新闻中心-杭州网

https://hznews.hangzhou.com.cn/chengshi/content/2023-03/21/content_8496192.htm

⁶ [PDF] 步行与自行车交通蓝皮书 - ITDP-CHINA

<http://www.itdp-china.org/media/publications/pdfs/nmtblue.pdf>

- 7 8 [PDF] 城市道路工程设计规范 - 北京市交通委员会
<http://jtw.beijing.gov.cn/csdlyh/zlybz/202111/P020211109557720142032.pdf>
- 9 电动自行车安全问题调查：限速有“解” 却让安全“无解” - 人民网
<http://bj.people.com.cn/n2/2024/1211/c14540-41071942.html>
- 10 解读2023年第四季度深圳市公共交通服务指数
<https://www.dcutp.com/index.php?s=/News/show/id/557.html>
- 11 深圳常规公交（快、干、支线网）运营特征分析
<http://www.sutpc.com/news/jishufenxiang/811.html>
- 12 关于合理设置交通红绿灯时间的建议-南通市通州区人民政府
<http://www.tongzhou.gov.cn/tzqrmzf/zxdssjwyhehy/content/e8a11f28-7d63-453a-9033-c6f3ce7858de.html>
- 13 交通设施 | 地摊经济与行人步道：一场城市管理艺术的竞技 - 澎湃新闻
https://m.thepaper.cn/wifiKey_detail.jsp?contid=7703542&from=wifiKey