

# 基于线圈数据的交通流密速分析

## 一、数据预处理

对于给定的 20s 周期数据集中，前 12913 个样本所用到的检测器编号都是 NHNX39(2)。而第 12913 到 12960 个样本对应的检测器编号为空值，这 48 个样本数据约占总数据集样本的 0.37%，其对于线圈数据的交通流密速分析的影响微乎其微，本文直接舍去。

## 二、符号说明

符号	说明	单位
$q$	流量	$vhe/20s$ 、 $vhe/5min$ 、 $vhe/15min$
$v_s$	速度	$km/h$
$o$	占有率	(%)
$\bar{L}$	平均有效车长	$m$

## 三、问题的分析与求解

### 3.1 问题一的分析与求解

首先明确个指标的实际意义：

流量( $q$ )：单位时间内通过固定位置的车辆数。

速度( $v_s$ )：单位时间内测得的平均速度。

占有率( $o$ )：固定位置被车辆占有的时间比例。

因此，对于把 20s 周期的数据聚集为 5min 和 15min 周期的数据来说。本文对这三个指标的处理方法如下：

- 1、流量：直接求和，以 20s 为基准得到每个新周期内的流量。
- 2、速度：求平均值，得到每个新周期内的空间平均车速。
- 3、占有率：先计算每个 20s 周期的测量时间，对之求和，得到每个新周期的测量时间。再计算每个新周期的占有率。

本文在整理数据时，把最后不足以到一个新周期的所有样本删去。具体 MATLAB 程序见压缩包 (question\_1\_gather\_5min.m，question\_1\_gather\_15min.m)，具体结果见压缩包 (ans\_1.xlsx)。

## 3.2 问题二的分析与求解

### 3.2.1 图形

绘制的“ $o-v$ ”, “ $o-q$ ”, “ $v-q$ ” 散点图如下:

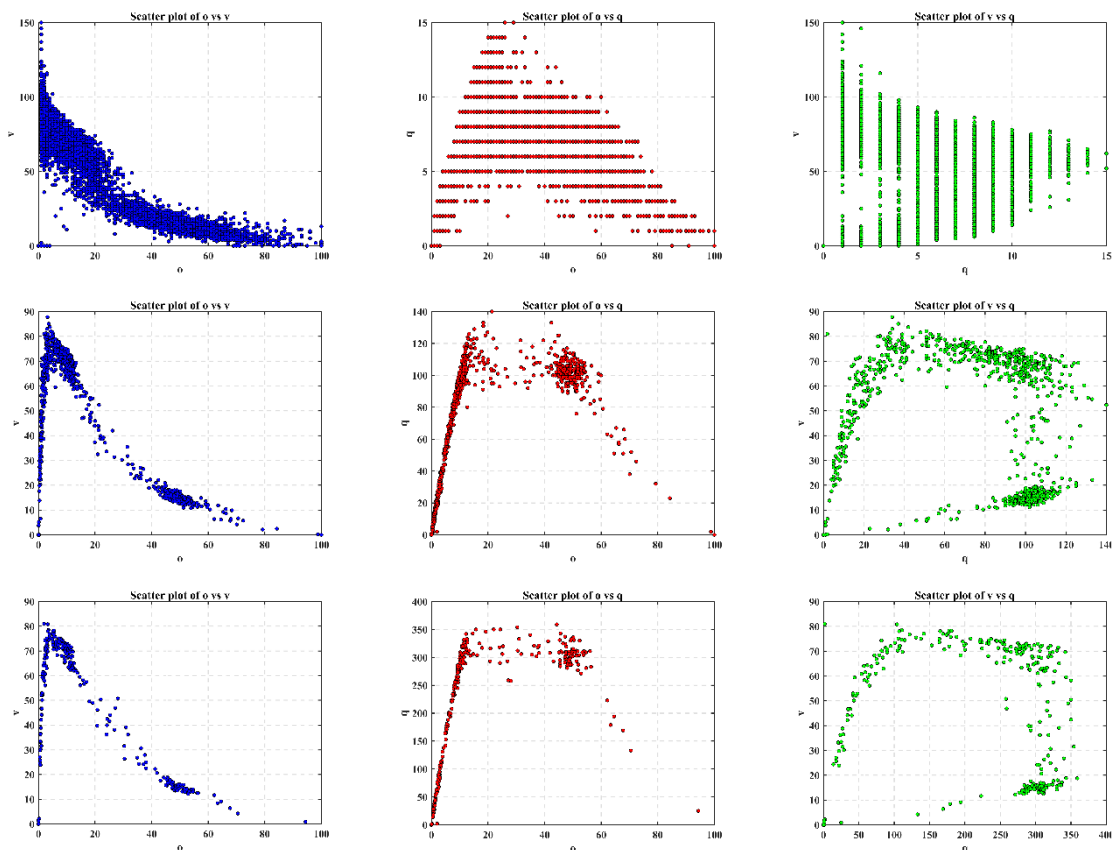


图 1.周期分别为 20s,5min,15min 的  $o-v$ , $o-q$ , $v-q$  图 (上中下)

具体 MATLAB 程序见压缩包。

(question\_2\_picture\_20s.m , question\_2\_picture\_5min.m , question\_2\_picture\_15min.m)

### 3.2.2 流密速三个参数之间的关系

**观察占有率与速度的关系:** 通常情况下速度会随着占有率的增加而下降。即反映了道路拥堵程度的增加导致车辆速度的减小。

**观察占有率与流量的关系:** 流量可能在中等占有率时达到最高。流量与占有率之间可能近似存在开口向下的二次函数关系。这是因为当占有率较小时, 道路拥堵程度较低, 单位时间内通过的车辆数较多, 流量较大; 随着占有率的增大, 流量增大; 增大到一定值后, 占有率较大, 道路拥堵程度较高, 单位时间内通过的车辆数较少, 流量较低; 之后随着占有率的增大, 流量减小

**观察速度与流量的关系:** 当流量较低时, 随着流量的增加, 速度也随之增加, 这是因为此时的流量低, 交通堵塞程度小。但当流量在一个较大值, 并增大时, 此时车速减小, 这是因为此时流量较大, 车辆在初期几乎全部进入道路, 使得车辆数增多, 车间距减小, 车辆受限于拥堵情况

而速度减小。

### 3.2.3 不同时间分辨率下散点图的异同点

(1) **相同点：**都能呈现出一种大致的变化规律——占有率与速度的关系呈现反比趋势，占有率增加时速度降低；占有率与流量的关系表现为随着占有率的上升，流量先增加到一个峰值后开始下降，呈现倒 U 形曲线；速度与流量的散点图表现出较为复杂的趋势，通常在流量增加时，速度先增后减。

(2) **不同点：**

1、随着时间分辨率的增大，图中散点的分布逐渐稀疏。20 秒周期的散点图中数据点更加密集，而 5 分钟和 15 分钟的散点图中点较为分散；20 秒周期下的图能够更好地捕捉瞬时变化，而 5 分钟和 15 分钟周期的数据反映了较为平滑的趋势。

2、20 秒周期下的散点图表现出更大的波动性，尤其是速度与流量的散点图中，数据点明显更加分散。较长时间分辨率的图则数据点聚集得更为紧密；随着时间分辨率增大，数据的瞬时变化被平滑掉，体现出较为平滑的总体趋势。

3、在占有率-流量和速度-流量的散点图中，15 分钟周期的数据表现出一些不同于短周期的数据结构，比如在速度-流量图中出现了较为清晰的弧线形状，而 5 分钟周期的图则弧形更加模糊。

### 3.3 问题三的分析与求解

基于图 1 中 5min 周期的三类图形，可大致推断出一下参数的值：

**车道通行能力：**车道通行能力指的是单位时间内，车道能够通过的最大流量。通过“占有率-流量 (o-q)”图，可以找到流量的峰值。此时的流量即可以表示车道通行能力，估计为 $100veh/5min$ 。

**自由流车速：**自由流车速是指在低占有率（交通不拥堵）的情况下车辆可以达到的最高平均速度。在占有率接近 0%时对应的车速可以估计为自由流车速。通过“占有率-速度 (o-v)”图可知自由流车速约为 $90km/h$ 。

**最佳占有率：**最佳占有率是指在流量达到最大值时的占有率。根据“占有率-流量 (o-q)”图，估计最佳占有率为 15%左右。

**最佳车速：**最佳车速是指在流量达到最大时的平均车速。根据“速度-流量 (v-q)”图，流量最大值大约在 $100veh/5min$ 左右，因此最佳车速大概在 $65km/h$ 左右。

**阻塞占有率：**阻塞占有率是指车道完全拥堵时的占有率，此时车辆的速度几乎为 0。根据“占有率-速度 (o-v)”图，估计阻塞占有率在 80%-100%。

表 1.各参数的估计值

	车道通行能力	自由流车速	最佳占有率	最佳车速	阻塞占有率
估计值	$100veh/5min$	$90km/h$	15%	$65km/h$	80% – 100%

### 3.4 问题四的分析与求解

通过 MATLAB 绘制的在 4 月 18 日不同时间解析度下流量，速度，占有率的时序图如下：

#### 3.4.1 流量

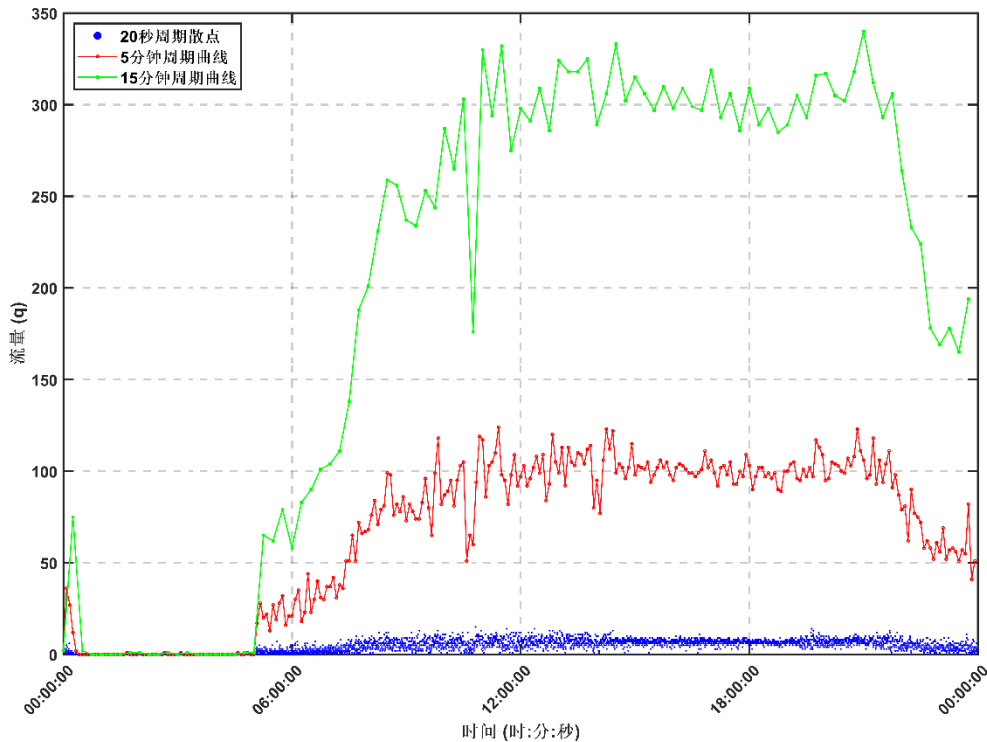


图 2.三种时间分辨率下的流量时序图

具体 MATLAB 程序见压缩包。(question\_4\_q.m)

**高峰时段：**由图可知，该道路上流量从 6:00 开始有较大的上升，10:00 左右到达一个峰值；10:00 到 19:00 左右一直维持在一个较高水平。之后流量开始逐渐下降。

**相同点：**

- 1、三条曲线在大体趋势上是一致的，反映了交通流量的高峰和低谷变化。
- 2、尽管 20 秒、5 分钟和 15 分钟的时间分辨率不同，但它们都展示了交通流量在高峰时段达到了一定的峰值，且这些峰值出现在相似的时间点上。

**不同点：**

- 1、细节程度不同：20s 周期时序图显示了极为细粒度的流量变化，反映了瞬时的交通波动。由于时间间隔较短，这些数据点能够捕捉到交通流量的快速变化和波动。然而，正是因为分辨率太高，图中呈现出大量数据点，难以直接从中看到大范围的趋势。5min 周期时序图虽然相比 20 秒分辨率仍显示了较多的波动，但与 20 秒相比，5 分钟周期减少了噪音，更清晰地展示短期流量的波动。15min 周期时序图是最平滑的一条曲线，因为时间间隔较长，它只捕捉到了交通流量的大致趋势，忽略了较短时间段内的波动。尽管它能显示出流量高峰和低谷，但缺乏短期内的波动细

节。

2、异常点的体现方式不同：20s 周期时序图由于分辨率很高，任何细小的流量变化都会被记录下来。因此，某些异常点（比如流量突然增加或减少）在该分辨率下非常明显。这些波动点可以更好地反映交通中的突发情况。5min 周期时序图虽然平滑了一部分波动，但某些异常点仍然被捕捉到了，特别是在短时间内发生较大的变化时。例如，在某些时段，流量的急剧上升或下降仍然可以通过 5 分钟周期的曲线反映出来，但这些波动的幅度比 20 秒周期要小。15min 周期时序图异常点很少出现。由于长时间段内的平均化处理，许多短时间内的流量异常波动被平滑掉，只有非常显著的异常情况才会反映在曲线上。因此，15 分钟的分辨率更倾向于展示大趋势，而忽略短期异常。

#### 建模与预测：

1、不同时间分辨率的交通数据可以为不同类型的交通预测模型提供支持。高分辨率（如 20 秒）的数据可以用于短期的交通预测，例如预测未来几分钟内的流量变化。5 分钟和 15 分钟的数据则更适合用于长期的流量预测模型，帮助预测一天或更长时间段内的流量变化。

2、时间分辨率越高的交通流量数据，能够提升短期交通预测的精度。比如，使用 20 秒或 5 分钟的数据来建立预测模型时，模型的拟合精度会更高，能够更精细地捕捉到流量的微观波动。然而，对于长期趋势的预测，15 分钟周期的数据则更能提供总体上的趋势。

### 3.4.2 速度

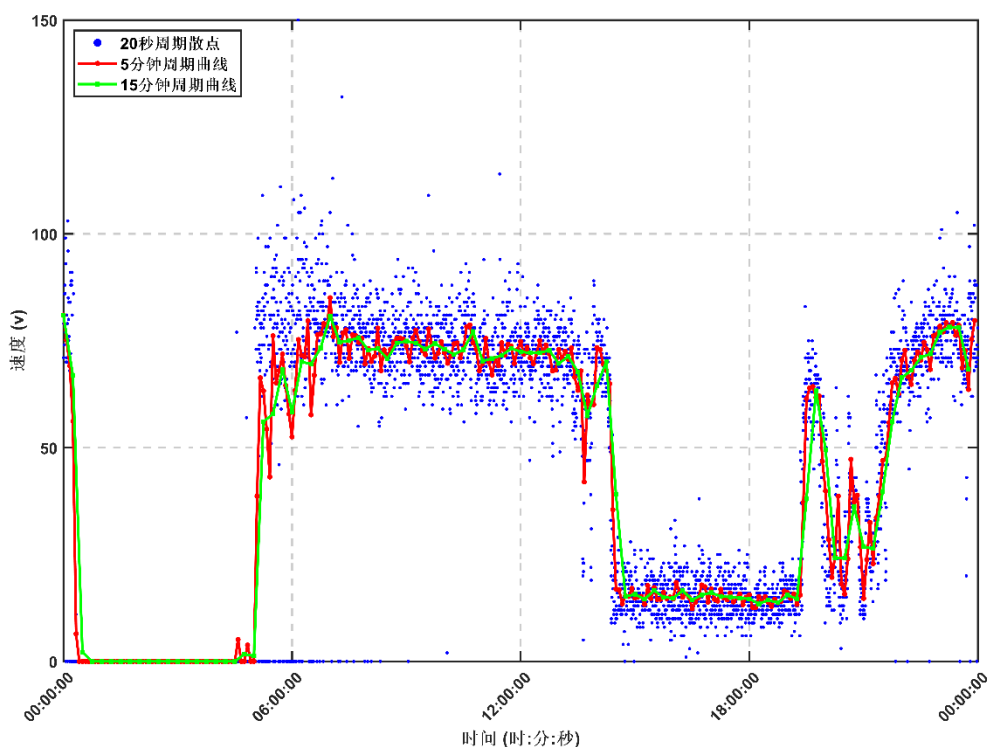


图 3.三种时间分辨率下的速度时序图

具体 MATLAB 程序见压缩包。(question\_4\_v.m)

**高峰时段：**在 5:00 到 6:00 之间，道路上车速急剧上升，达到第一个峰值。从大约 10:00 到 14:00 期间，车速相对较为稳定，维持在一个较高的水平。大约在 15:00 时，车速迅速下降，之后的大约 5 个小时，车速一直维持在一个较低的水平。20:00 晚高峰之后的夜间，车辆速度逐渐恢复，尤其是接近午夜时车速逐渐上升。

**相同点：**尽管这三条曲线展示了不同的细节层次，20 秒分辨率捕捉到的细节最多，而 15 分钟的分辨率则最平滑，但它们在宏观趋势上是高度一致的。无论是高峰期的车速下降，还是白天时段车速的平稳，以及低谷时段的极低车速，三条曲线表现出了相同的时段和趋势变化，反映了它们在捕捉大范围车速变化时的一致性。

**不同点：**

1、细节捕捉能力的差异：20 秒周期时序图能够捕捉到每一个瞬时的速度变化，细节丰富，显示了车速的剧烈波动，特别是在高峰期和拥堵时，车速频繁上下波动。这种高分辨率反映了车辆的短期加速和减速，是最能反映实时变化的曲线。而 5 分钟和 15 分钟周期时序图：由于时间分辨率较低，数据经过了平滑处理，短期内的剧烈波动被平均掉，特别是 15 分钟的曲线，几乎没有反映出车辆在高峰期的波动，展示的是整体的速度趋势，而不是瞬时的细节。

2、波动幅度的差异：20 秒周期时序图的波动幅度最大，特别是在高峰期和流量较大的时段，车辆速度频繁上下波动。大量的散点显示了车速在短时间内的剧烈变化。这种剧烈波动反映了拥堵期间的车辆加速减速情况，以及道路条件的快速变化。而 15 分钟周期：波动幅度最小，曲线非常平滑，展示的是长时间段的平均速度，几乎没有显示出短期内的剧烈波动。该分辨率适合展示宏观趋势，反映车辆在一段较长时间内的总体车速变化，而忽略了小幅波动。

### 3.4.3 占有率

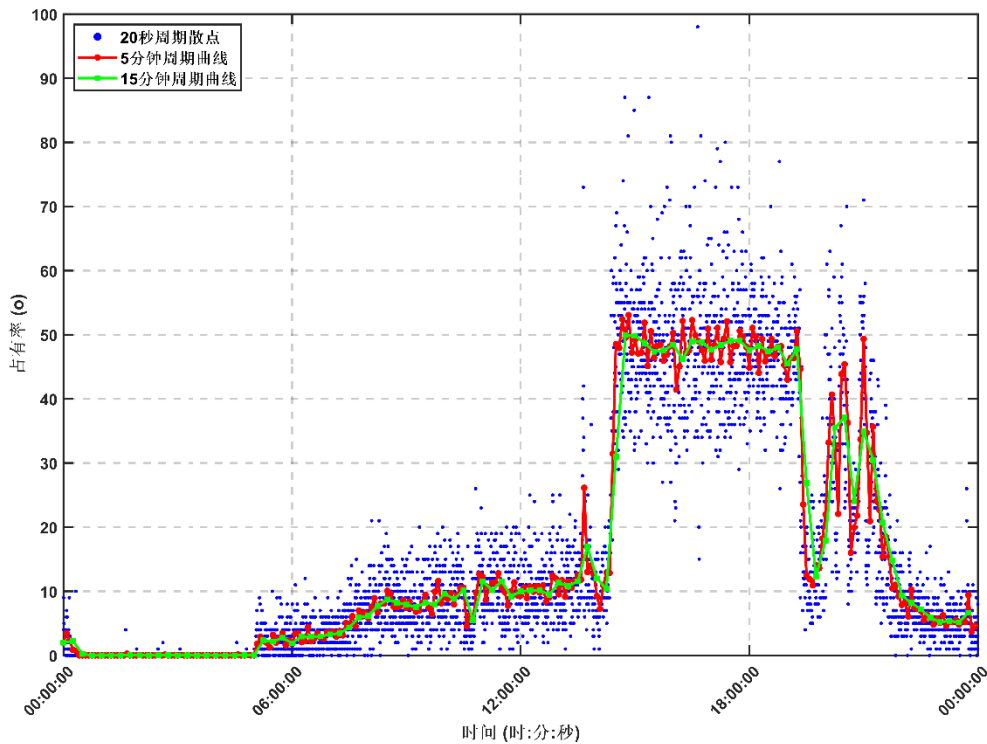


图 4.三种时间分辨率下的占有率时序图

具体 MATLAB 程序见压缩包。(question\_4\_o.m)

**高峰时段：**从 5:00 至 13:00 左右期间，占有率迅速上升。在 15:00 左右，占有率迅速上升到峰值。15:00 至 18:00 左右，占有率一直稳定在一个比较高的水平，在夜间及清晨（0:00 至 6:00），所有分辨率的曲线和散点图显示占有率接近于零，表明道路上的车辆极少，交通顺畅。

**相同点：**每种时间分辨率下的图在总体趋势、早晚高峰的时段、占有率的上升与下降模式，以及波动的时段上表现出高度一致。无论是 20 秒、5 分钟还是 15 分钟的分辨率，都能够同步反映出占有率的变化规律。

**不同点：**

1、蓝色散点非常密集，能够显示出每一秒内占有率的细微变化。它可以捕捉到车辆每次加速、减速或停滞的情况，反映了道路的即时占用情况。

2、周期 5min 和 15min 时间序列图曲线更加平滑，细节逐渐减少。特别是 15 分钟周期，更多关注大趋势，忽略了短期波动。因此，5 分钟和 15 分钟的分辨率只能捕捉到较大时间段内占有率的变化，无法反映每个瞬时的占用情况。

### 3.5 问题五的分析与求解

基于 15min 周期的数据集，利用 MATLAB 绘制的流量和速度时序图如下。

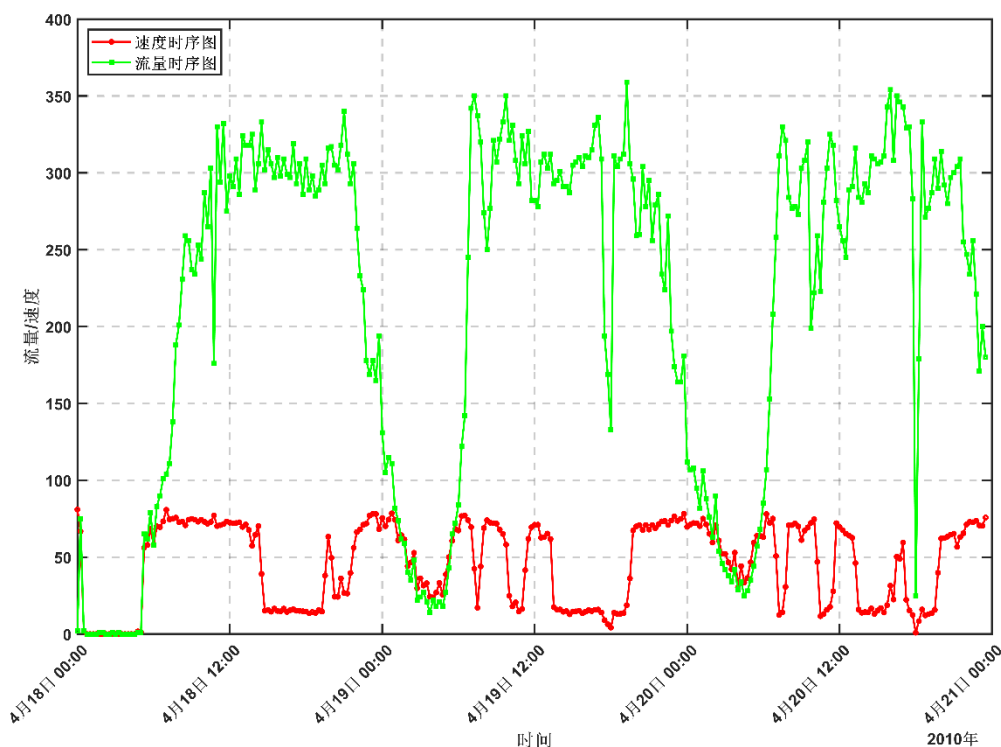


图 5.流量和速度时序图

具体 MATLAB 程序见压缩包 (question\_5.m)。

#### 3.5.1 二者变化的反相关性

由图可知，流量和速度在很多时间段呈现出反相关性：即当流量增加时，速度往往会下降，尤其是在交通高峰期。这表明流量增加，车辆变得更加拥挤，导致车速下降。例如，图中流量在 4 月 18 日和 4 月 19 日的白天明显增加，同时速度明显下降，说明这些时段可能是早晚交通高峰期。相反，当流量降低时，速度通常会上升，例如在夜间低谷时段，车辆可以更自由地行驶，速度较高。

#### 3.5.2 二者变化的非线性关系

流量和速度之间的关系并非线性，在低流量和高流量区间表现出的关系截然不同。图中的高流量区域显示出明显的速度急剧下降，而在低流量区间，速度的变化较为平滑。这种非线性关系表明，不同的流量水平下，交通系统的动态特征会显著不同。在流量增加时，速度的下降并不是逐步的，而是存在某个临界值。一旦达到该临界值，速度会急剧下降，表现出非线性行为。这在图中高峰期时段可以清楚地观察到：流量曲线陡增，而速度曲线呈现出明显的急剧下降。



### 3.5.3 二者间的滞后效应

速度的变化并不会立即反映流量的变化，尤其是在交通状况突然变化时。例如，当流量迅速增加时，速度的下降可能会滞后于流量的变化，因为车辆需要时间逐步减速或适应新的交通密度。同样，在流量下降时，速度的恢复也可能有所延迟，车辆需要逐渐加速恢复正常车速。在图中，速度曲线的变化有时会稍微滞后于流量曲线的变化，特别是在流量快速变化时。高峰期结束时，流量迅速下降，但速度的恢复则需要一段时间。这反映了驾驶员和车辆在面对流量变化时的反应过程。

### 3.6 问题六的分析与求解

在本题中，周期 15min 数据集给出的参数有占有率，速度（空间平均车速），流量。而平均有效车长的计算公式如下：

$$\bar{L} = \frac{o \cdot v_s}{q} \quad (1)$$

于是，可以在 Excel 中算出每个样本下，对应的平均有效车长。因为速度的单位是  $km/h$ ，所以先把流量的单位换为  $veh/h$ 。

利用 MATLAB 画出的直方图如下。

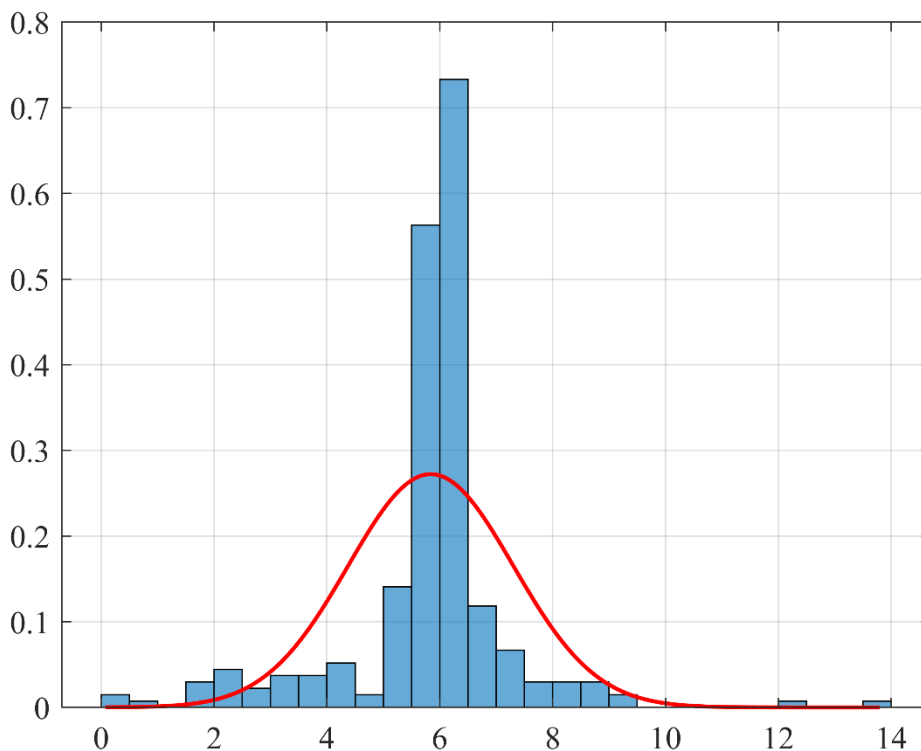


图 6.平均有效车长的直方图

具体 MATLAB 程序见压缩包。(question\_6\_histogram.m)

由图可知，平均有效车长的范围大致在 $5.5m - 6.5m$ 。