



本章主要介绍一些道路交通的基本概念，让读者对道路交通有一个基本的认识。

1.1 交通信号的分类

在城市道路网中，道路纵横交错，人流和车流川流不息，如果没有交通信号的协调控制，城市道路交通将陷入瘫痪状态。交通信号的作用是合理分配道路上车辆、行人的通行权，使之有秩序地顺利通行。

交通信号分为交通信号灯、交通标志、交通标线和交通警察的指挥。

1.1.1 交通信号灯

交通信号灯，即所谓的红绿灯，是以规定时间交互更替的光色信号，设置于交叉路口或其他特殊地点，用以将道路通行权指定给车辆和（或）行人，管制其行止及转向的交通管制设施。它以红、黄、绿三色灯号或辅以声音，指示车辆及行人停止、注意与行进。

在交叉口通过设置信号灯，只有指定方向的车流在规定的绿灯时间

内单独占用道路空间，而其他方向的车流只能原地等待绿灯放行。这种交通控制方式，以时间换取空间，实现各个方向车流在时间上的分离，使得交叉口的交通运行井然有序。

1.1.2 交通标志

交通标志是指用图案、符号、数字和文字对交通进行导向、限制、警告或者指示的交通设施，一般设置于路侧或道路上方，有利于调节交通流量、疏导交通，提高道路通行能力，并可预示前方道路状况，提醒车辆与行人注意安全，减少交通事故的发生。

道路交通标志分为主标志和辅助标志两大类。主标志又分为警告标志、禁令标志、指示标志、指路标志、旅游区标志和道路施工安全标志六种；辅助标志是在主标志无法完整表达或指示其内容时，为维护行车安全与交通畅通而设置的标志，附设在主标志下，起辅助说明作用。

1.1.3 交通标线

交通标线是指在道路的路面上，用线条、箭头、文字、立面标记、



突起路标和轮廓标等标识，向车辆与行人传递引导、限制、警告等交通信息的交通设施。其作用是管制和引导交通。

在实际的道路交通管理中，渠化与导流^[3]是一种有效的提高道路交叉口通行能力的解决措施。通过在交叉口路面设置必要的交通标线，明确车辆与行人在交叉口内的行走路线，引导或强制一些流向的车辆与行人各行其道，从而将错综复杂的交通流引导至指定的路径进行交通组织。渠化与导流，从空间上分离了各方向的交通流，减少了交叉口中车流的冲突，提高了道路的通行能力。

1.1.4 交通警察指挥

交通警察指挥手势信号分为 8 种，分别是：停止、直行、左转弯、左转弯待转、右转弯、变道、减速慢行、示意车辆靠边停车。在有交通警察指挥车辆的情况下，应优先按照交通警察的手势行车，而不能按照前面介绍的其他三种交通信号行车。

在这 4 种交通信号中，交通标志与交通标线一般固定于道路的某处，不具备实时调控交通流的能力；而交通警察指挥这种方式，虽然能够实

时调控交通流，但由于其对交通的控制不够精准，且人力资源有限等，这种交通控制方式不具备大面积推广的能力。

而交通信号灯，虽然一般固定于道路交叉口中，也不能够实时调控交通流（针对未使用辅助控制装置的信号灯），但是它可以通过配置不同的参数（周期、绿信比、相位差等），灵活精准地控制各个方向车流的通行，使之有秩序地顺利通行。

因此，本书主要讨论道路交叉口的交通信号灯，如果文中没有明确指出交通信号的概念，其指的就是交通信号灯。

1.2 交通信号灯的基本要素

交通信号灯的基本要素主要有：相位、周期、绿信比和相位差。

1.2.1 相 位

信号灯相位，表示信号灯的状态。

对于交通信号灯装置而言，它有 3 种相位：绿灯、红灯和黄灯。1968 年，联合国《道路交通和道路标志信号协定》对各种信号灯的含义作了规定：



- ◆ 绿灯是通行信号，面对绿灯的车辆可以相应地直行、左转弯或右转弯，除非另一种标志禁止某一种转向。

- ◆ 红灯是禁行信号，面对红灯的车辆必须在交叉路口的停车线后停车。

- ◆ 黄灯是警告信号，面对黄灯的车辆不能越过停车线，但车辆已十分接近停车线而不能安全停车时可以进入交叉路口。

由于黄灯对车辆的控制处于一种模糊状态，且为了叙述的方便，本书暂时不讨论交通信号灯的黄灯相位。读者可将其归入红灯相位考虑，到实际应用场景时，再将其从红灯相位时间中剥离，这样可使问题得到简化，且既不影响道路的理论分析，也不影响理论分析结果的实际应用。

1.2.2 周 期

对于交通控制而言，信号灯从起始相位开始到终止相位结束所经历的时间，称为一个信号灯周期。例如，对于只有两相位的信号灯，其周期等于一次绿灯时间与一次红灯时间的累加和。

在道路交叉口中，信号灯的周期要足够长以便于所有方向上的车流顺利通过路口，但不能过长。如果周期过短，不利于车流通过交叉口，且相位频繁转换耗费较多时间；但如果周期过长，车辆在交叉口等待的时间就会变长，延误也会变大。如图 1-1 所示描绘了周期和延误的一般关系。

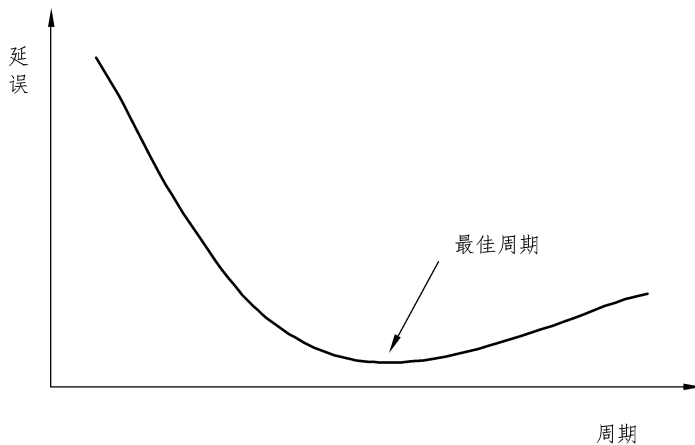


图 1-1 周期和延误的一般关系^[4]

1.2.3 绿信比

绿信比，即信号灯的有效绿灯时长与周期总时长的比值。

一旦信号灯的周期和绿信比确定后，该信号灯的绿灯时间和红灯时间也就确定了。最小的绿灯时间，必须能够保证所有等待的行人安全通



过交叉口。而最大红灯时间，必须考虑到原地等待绿灯放行的车辆驾驶人与行人的心理反应。按照交通工程经验，最小绿灯时间为 15 s，最大红灯时间为 180 s。

1.2.4 相位差

在本书的讨论中，相位差主要是指，沿着直行车辆的行驶方向，相邻交叉口绿灯相位的起始时刻的时间差。

在多个交叉口的协调控制系统中，相位差是一个重要的影响因素。如果相邻交叉口间的相位差配置得当，则能有效地减少直行车辆的延误和停车次数。

但如果相位差配置不当，同样会增加路网中车辆的延误时间，加剧城市道路交通的拥堵情况，并降低城市道路交通系统的效率。举一个现实生活中比较普遍的例子，某条主干道上的一辆直行的汽车，正在第一个交叉口等待绿灯放行，当其准备起步时，第二个交叉口的信号灯正在倒计时转成红灯；等它到达第二个交叉口时，信号灯已经转成红灯，而此时第三个交叉口的信号灯正在倒计时转成绿灯。于是，这辆直行的汽车

只能在每个交叉口都要停车等待绿灯放行，驾驶员也无可奈何。

而本书所提出的新型交通信号控制系统，正是通过优化相邻交叉口的相位差配置，使得道路网中的车辆都能顺畅地通过一个个交叉口，从根本上杜绝例子中类似情况的发生。

1.3 交通信号灯的 control 方式

交通信号灯 control 方式可以分为定时 control、感应 control 和自适应 control。

1.3.1 定时 control

定时 control 是实际交通中可以实现的最简单的 control 方式，也是使用最广泛的一种 control 方式。在定时 control 系统中，交通信号 control 机均按事先设定的配时方案运行，其中所有的 control 参数（周期、绿信比和相位差）都是预先设定的。

一天只用一种配时方案的定时 control 称为单段式定时 control；一天按不同同时段的交通流量采用不同配时方案的定时 control 称为多段式定时 control。

定时 control 方式虽然简单且不能根据实时交通流量调控配时方案，但是只要合理地配置各个交叉路口的配时方案，指定方向的车流也可以低

延误地通过各个交叉路口。本书也主要讨论这种定时的控制方式，而且在新型系统中，定时控制方式能够降低整个控制系统的复杂程度，提高控制系统的稳定性。

1.3.2 感应控制

感应控制是在交叉口进口引道上游设置车辆检测器，其信号灯配时方案可随检测器检测到的车流信息而动态改变的一种控制方式。

感应控制能够根据实际的上游交通状态连续地调整绿灯时间，使得上游到达的车辆能够及时通过交叉口，因此它能够处理车流量波动的交通环境。

这种控制方式在一定程度上克服了定时控制的缺点，但是由于没有考虑红灯相位的车辆排队长度，因此该控制方式只是对某一方向车流的优化，对全局来说这种改变没有起到很好的优化作用^[4]。

另外，通过感应控制方式来动态改变单一交叉口的信号灯配时方案，这种方法还比较现实。但如果需要动态改变一组相关联协调的交叉口的信号灯配时方案，就会使得道路交通的管理变得复杂，甚至达到无

解的状况。

1.3.3 自适应控制

自适应控制的基础是感应控制。自适应控制是把交通系统作为一个不确定系统，通过感应装置连续检测其运行状态（如车流量、停车次数、延误时间、排队长度等信息），逐渐了解和掌握所控制区域的交通状况，并针对某种性能指标而产生最优或次优配时方案的一种控制方式。

自适应控制，一般不需要建立交通流的精确数学模型，而是采用一些智能化的方法（如神经网络、模糊控制、遗传算法等），直接对采集到的交通数据进行优化决策，得到整个交通网络所需要的控制参数^[4]。

自适应控制一般是采取分层递阶的控制方式，由路口控制级、区域控制级和中央控制级三级联网，实现点、线、面之间交通信号的协调控制。

这种控制方式更好地发挥了感应控制的优势，但也继承了感应控制



的不足。在一定程度上，自适应控制对全局的交通网络进行了优化，但由于计算的复杂，可能不能及时地响应采集到的交通流数据，甚至也会达到无解的状况，即没有最优或次优配时方案。

1.4 道路交通的评价指标

道路交通的评价指标常用的有延误时间、排队长度、通行量和停车次数等，下面分别加以介绍。

1.4.1 延误时间

延误时间是指由于交通摩擦与阻碍以及交通管制等原因导致受阻车辆的行驶时间的损失，通常以秒或分钟来计算。延误时间包括固定延误、停车延误、排队延误、引道延误和行驶延误。

- ◆ 固定延误：由交通标志或交通控制装置引起的延误，如注意行人标志或闪烁的黄灯等装置，是与交通流状态和其他车辆干扰无关的延误，是一种无法完全排除的延误。

- ◆ 停车延误：车辆刹车停止不动的时间，其中包括车辆驾驶员从停车到起步的反应时间。

- ◆ 排队延误：排队时间与以畅行车速驶过交叉口停车线的时间之差。车辆第一次停车到越过停车线的时间，称为排队时间。根据定义，排队延误时间包含停车延误时间。

- ◆ 引道延误：引道时间与以畅行车速驶过交叉口停车线的时间之差。引道时间是指车辆受阻排队通过引道延误路段的时间。引道延误路段是指在交叉口进口引道上，从车辆因前方信号或已有排队车辆而开始减速行驶之断面至停车线的交通路线。

- ◆ 行驶延误：实际行驶时间与理论计算时间之差。理论计算时间是指在道路不拥堵的情况下，以畅行车速驶过检测路段所花费的时间。实际行驶时间，是指车辆驾驶员实际行驶通过检测路段所花费的时间，其包含以上所有的延误时间。当检测路段为引道延误路段时，行驶延误等于引道延误。

如图 1-2 所示为车辆在交叉口进口引道上的行程延误示意图。由图可以看出，在引道延误路段上，车辆受到延误的引道时间为 D 点的纵坐标值，畅行行驶时间为 C 点的纵坐标值。

引道延误为 D 、 C 两点纵坐标值之差。

停车延误为 F 、 E 两点纵坐标值之差。

排队时间为 D 、 E 两点纵坐标值之差。

排队延误为排队时间减去 C 、 B 两点纵坐标值之差。

据统计，通常停车延误约占引道延误的 76%，排队延误约占引道延误的 97%，因此，实际上通常以排队延误代替引道延误。

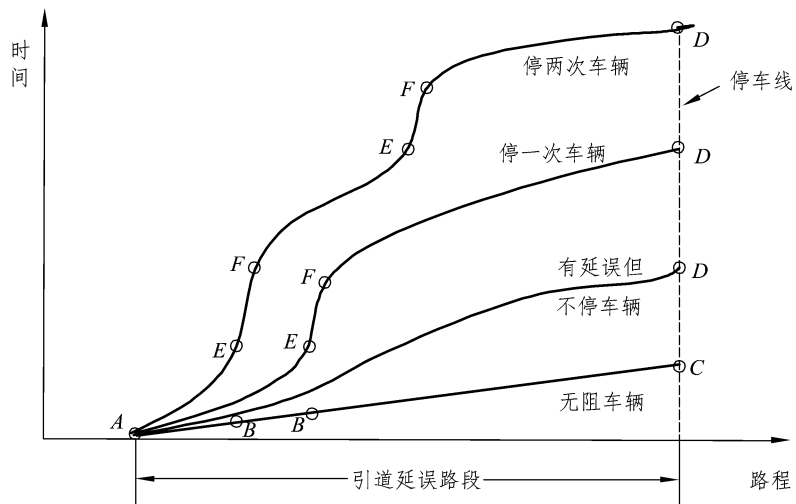


图 1-2 交叉口延误时间示意图^[4]

从图中也可以看出，行驶车辆一旦停车排队，其通过交叉口的延误时间势必直线上升，而且停车起步后的斜率明显大于无阻车辆的斜率，即排队车辆的平均行驶速率明显低于正常的行驶速率，这也会增加车辆的延误时间。因此，可以认定，停车排队是导致车辆延误时间增加的主要原因。

那么，为了有效地降低车辆的平均延误时间，必须尽量减少车辆的停车次数，甚至达到不停车状态，即实现交叉口引道上的绿波通行。

1.4.2 排队长度

处于排队状态的停车断面到停车线的路程，称为排队长度。需要注意的是，只要满足行驶速率低于某一限值（例如正常行驶速率的 10%），即可认定为处于排队状态，而不是一定要处于停车状态。

另外，由于实际道路网络是不规整的，往往没有笔直的道路，所以本书中所涉及的两个节点之间的距离均是指曲线路程（包括示意图中指示的直线长度），而不是指两节点之间的直线距离。

排队长度是衡量交叉口交通控制的一个重要指标。在同一条件下，如果交叉口引道上的排队长度越短，则说明交通控制效果越好，反之则越差。

1.4.3 通行量

通行量，是指一定时间内通过指定检测路段停止线的车辆数。它通过感应装置检测实际通行的车辆数量，通常用于评价交叉口或交通路段

的通行能力。

通行量与路面的车道数密切相关，在同等条件下，车道数越多，道路通行量就越大。因此，必须引入另外一个评价指标——单车道通行量，它等于道路总通行量与车道数之商。在同一条件下，如果单车道通行量越大，则说明交叉口通行能力越好，交通控制效果也越好，反之则越差。

1.4.4 停车次数

停车次数也是交通控制中常用的一个性能指标，它通过检测行驶车辆在检测路段停车的次数来反映交通控制的效果。在同一条件下，如果停车次数越少，则说明交通控制效果越好，反之则越差。

本书使用 VISSIM 交通仿真软件来模拟仿真实际的道路交通情况，该仿真软件会自动生成以上这些评价指标，为理论分析提供了诸多便利。

1.5 道路交通的仿真工具

目前，市面上有多款用于微观交通仿真的工具软件，本书主要使用 VISSIM 交通仿真软件进行实际道路的模拟仿真，因此在这里简要地介绍一下这款交通仿真软件。

VISSIM 是德国 PTV 公司的产品^[5]，是一款微观的、基于时间间隔和驾驶行为的仿真建模工具，用于城市交通和公共交通运行的交通建模。它可以分析各种交通条件下，如车道设置、交通构成、交通信号、公交站点等，城市交通和公共交通的运行状况，是评价交通工程设计和城市规划方案的有效工具。

VISSIM 仿真软件内部由交通仿真器和信号状态产生器两部分组成，它们之间通过接口交换检测器数据和信号状态信息。交通仿真器是一个微观交通仿真模型，它包括车辆纵向运动的跟车模型和横向运动的车道变换模型。信号状态产生器是一个信号控制软件，可以通过程序实现交通流的控制逻辑。

交通仿真模型的精确性主要取决于车流量模型的质量，与其他不太复杂的模型采用连续速度和确定的跟车模型不同，VISSIM 采用的跟车模型是 Wiedemann 于 1974 年建立的心理-生理类驾驶行为模型。该模型的基本思路是：一旦后车驾驶员认为他与前车之间的距离小于其心理（安全）距离时，后车驾驶员开始减速。由于后车驾驶员无法准确判断前车车速，后车车速会在一段时间内低于前车车速，直到前后车间的距



离达到另一个心理（安全）距离时，后车驾驶员开始缓慢地加速，由此周而复始，形成一个加速、减速的迭代过程。

车速和空间阈值的随机分布能够体现出驾驶员的个体驾驶行为特性。德国 Karlsruhe 工业大学进行了多次实地测试以校准该模型的参数。定期进行的现场测试和模型参数更新能够保证驾驶行为的变化和车辆性能的改善在该模型中得到充分的反映。

在多车道路段上，VISSIM 允许驾驶员不仅考虑本车道上前面的车辆（默认为 2 辆），也考虑两边邻近车道的车辆。此外，在距离交叉口停车线 100 m 处，驾驶员警惕性会提高。

同时，VISSIM 既可以在线生成可视化的交通运行状况，也可以离线输出各种统计数据，比如上文提到的道路交通评价指标。

基于以上这些特点，使用 VISSIM 交通仿真软件能够接近现实地模拟实际道路的交通状况。

1.6 本章小结

本章简要地介绍了道路交通相关的一些基本概念。首先介绍了交通

信号的分类，交通信号分为交通信号灯、交通标志、交通标线和交通警察指挥 4 种类型，本书主要讨论交通信号灯；其次介绍了交通信号灯的基本要素，包括相位、周期、绿信比和相位差；再次介绍了交通信号灯的几种控制方式，主要有定时控制、感应控制和自适应控制，并简要分析了它们各自的优缺点；再次介绍了道路交通常用的一些评价指标，主要有延误时间、排队长度、通行量和停车次数等；最后介绍了本书所使用的道路交通仿真工具——VISSIM 仿真软件。

以上这些道路交通基本概念的介绍，能够让读者对道路交通有一个基本的认识，有助于后续章节内容的讨论。