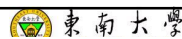


## 八、干线交叉口协调控制

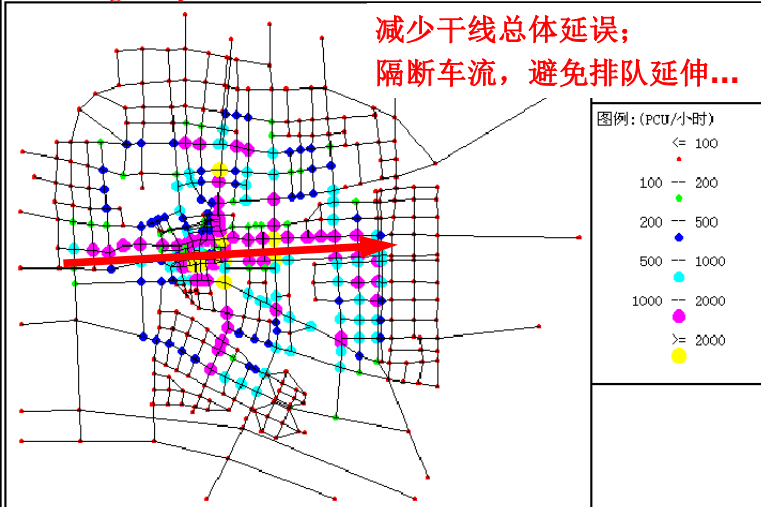
- 干线协调控制目标及参数
- 干线协调控制策略
- 干线协调设计方法及主要影响因素



### Traffic Signal Synchronization



减少干线总体延误;  
隔断车流, 避免排队延伸...



### 8.1 干线交通信号协调控制目标及参数



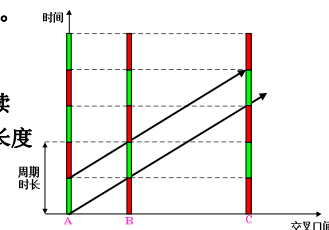
- 一、干线协调控制目标
- 二、干线协调控制参数

## 一、干线协调控制目标

- 主干道上行驶的车辆获得尽可能最小的行车延误或不停顿的通行权。
  - 交叉口整体延误最小化-主向延误不重复迭加;
  - 车队连续通过交叉口的绿灯时长最大-绿波带宽最大化
- 干线车流按期望的速度运行与排队

## 二、干线协调控制参数

- **相位差**: 相邻交叉口主线方向的绿灯起始时间差。避免相邻交叉口主线交通延误的重复产生。
- **信号相位**: 尽可能简化, 体现主线交通流的优先通行。
- **周期时长**: 单个交叉口延误最小化+交叉口协调控制要求。
- **绿信比**: 体现主线交通流优先通行。
- **其它**:
  - **绿波带宽**: 车辆在协调控制交叉口连续获得通行的最大绿灯时间长度
  - **绿波带速**: 对应带宽斜率的速度

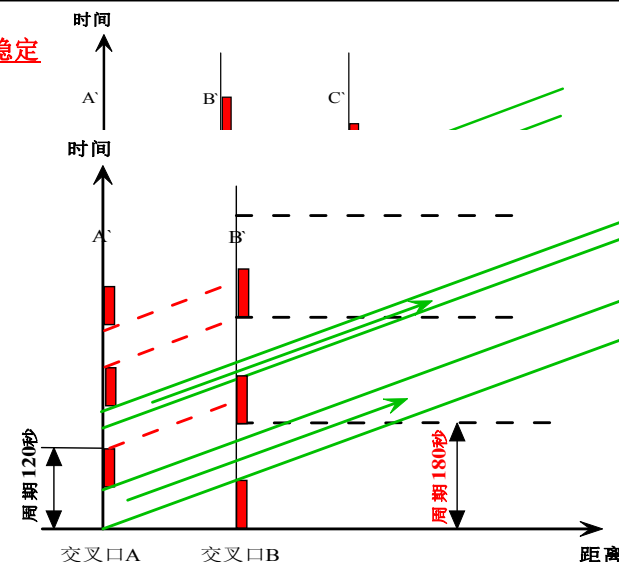


## 二、干线协调控制参数

- **1. 周期时长—延误优化**
  - 要求各交叉口周期时长必须统一, 通常选择最大周期时长作为系统的备选共用周期。(特殊地, 可以是周期的一半, 称为双周期)
- **2. 绿信比 —绿波带宽优化**
- **3. 相位差**

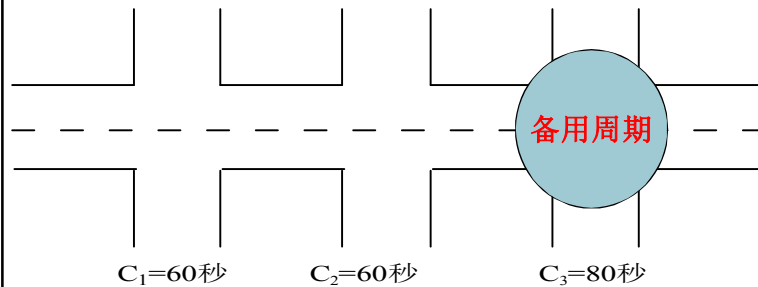
### 绿波带的稳定

周期时长统一



## 干线协调控制交叉口周期及绿灯时长

- (1) 计算系统内每个交叉口信号周期;
- (2) 以周期最长的交叉口为关键交叉口, 周期为备用系统周期;



- (3) 依据各主次要干道交通流量比和周期长, 计算各交叉口各相位绿信比和显示绿灯时间;
- (4) 关键交叉口的协调相位绿灯显示时间为各交叉口对干道方向所必须保持的最小绿灯时间;

$$g_{me} = (C_m - L_m) \cdot \frac{\max[y_m, y'_m]}{Y_m}$$

$g_{me}$ : 关键交叉口上主干道方向有效绿灯显示时间 (S)

$A_m$ : 关键交叉口绿灯间隔时间 (秒)

$C_m$ : 系统周期时长;

$L_m$ : 关键交叉口总损失时间;

$y_m, y'_m$ : 关键交叉口上主干道两方向的流量比;

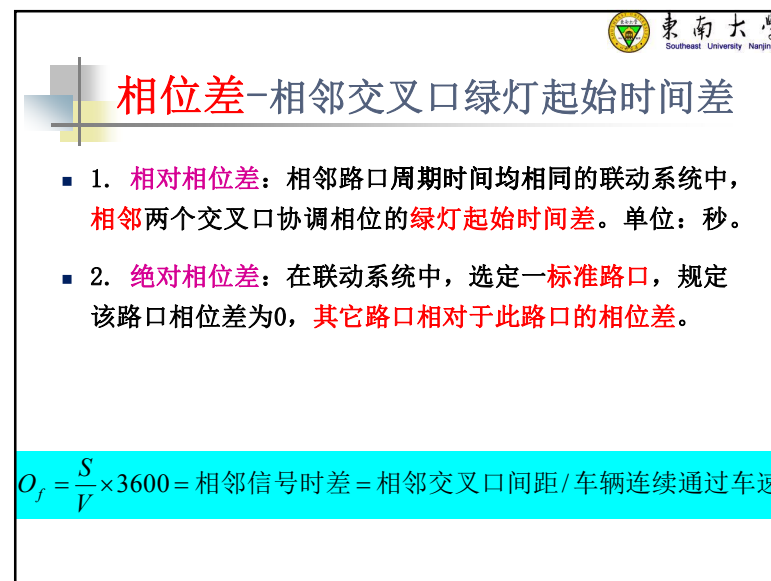
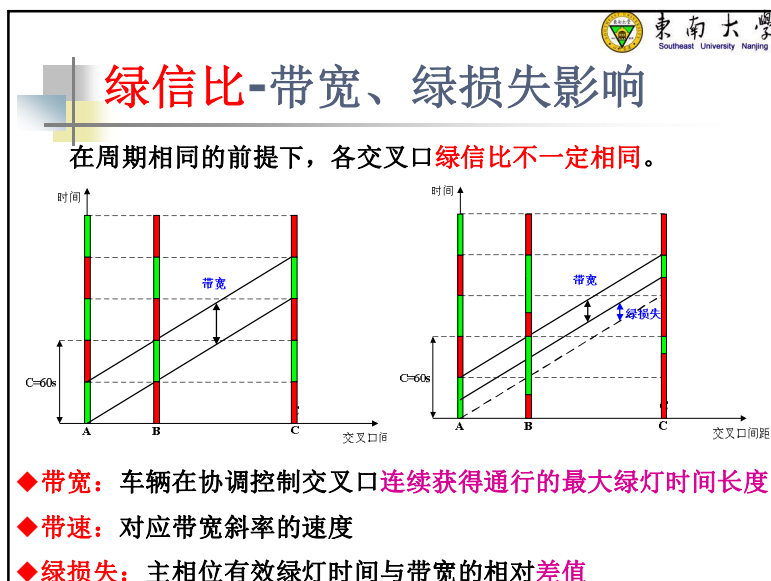
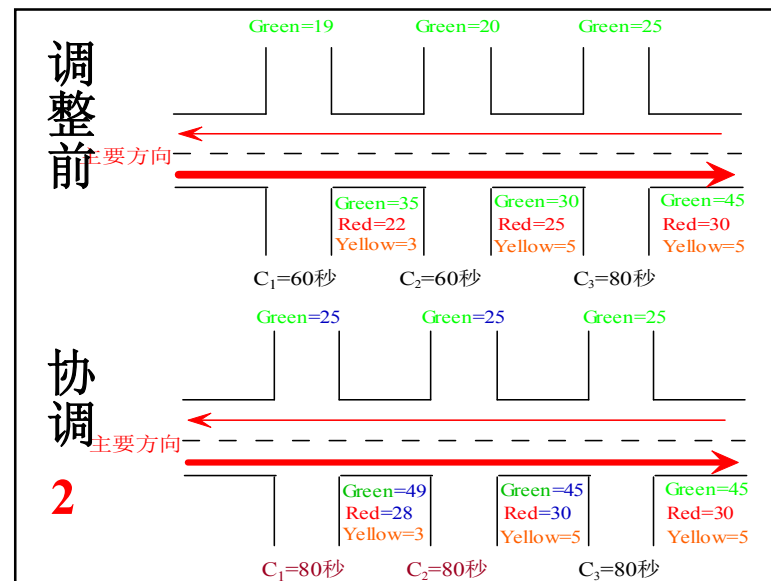
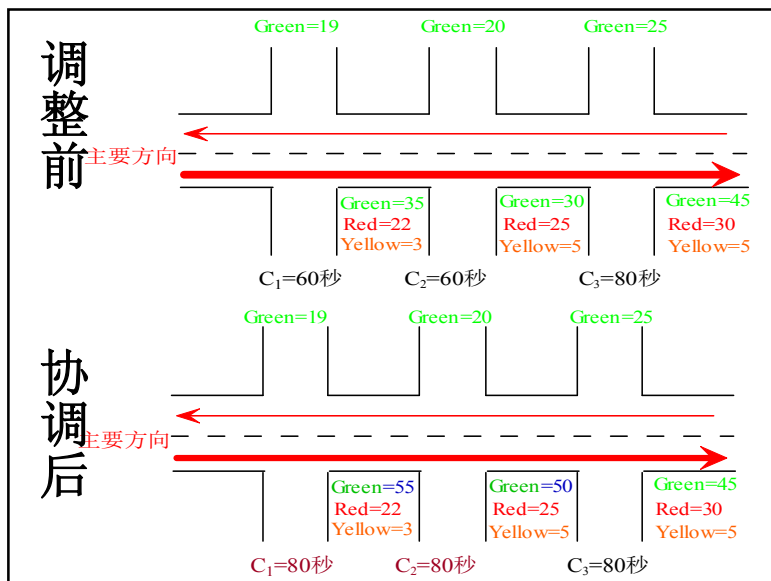
$Y_m$ : 关键交叉口上最大流量比之和。

- (5) 按步骤 (3) 算得关键交叉口上次要道路方向各相位有效绿灯时间, 为该交叉口对次要道路所必须保持的最小绿灯时间。

$$g_n = g_{nx} - A_n + 1$$

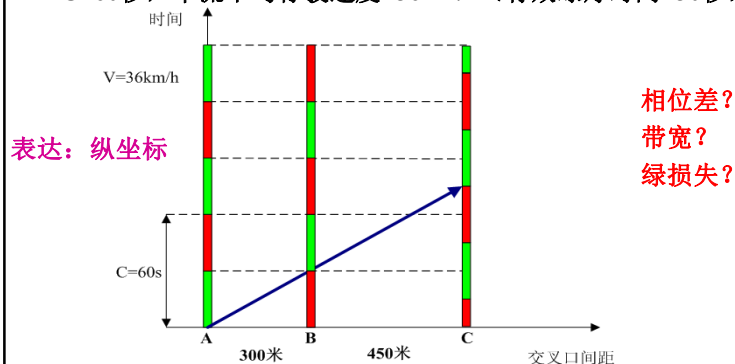
$$g_{ne} = (C_n - L_n) \frac{\max[y_n, y'_n]}{Y_n}$$

- (6) 非关键交叉口改用关键交叉口的周期时长, 各相绿灯时间随之增长, 非关键交叉口次要道路方向绿灯时间保持次路方向的最小绿灯时间, 把延长出来的绿灯时间全部加在干道方向。



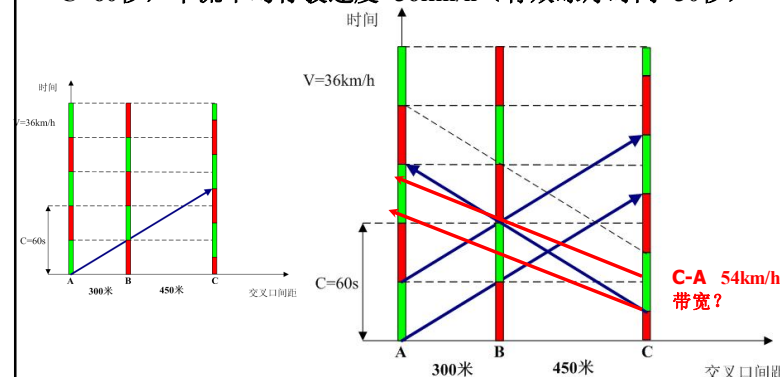
## 相位差的计算-单向协调

- A,B,C三个交叉口，间距分别为300米，450米。
- C=60秒，车流平均行驶速度=36km/h（有效绿灯时间=30秒）



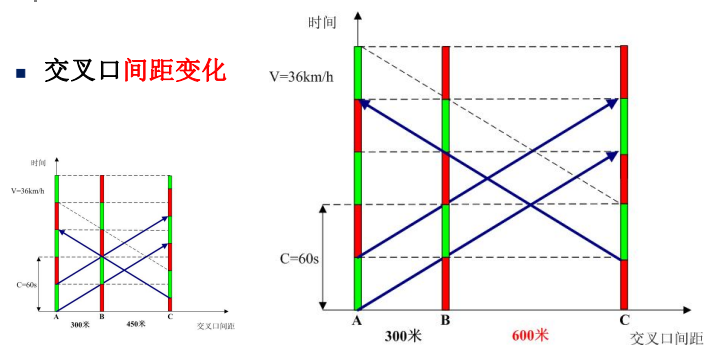
## 相位差的计算-双向协调

- A,B,C三个交叉口，间距分别为300米，450米。
- C=60秒，车流平均行驶速度=36km/h（有效绿灯时间=30秒）



## 相位差的计算-双向协调

- 交叉口间距变化



绿波带宽主要影响因素：绿信比，相位差（交叉口间距，车流速度）

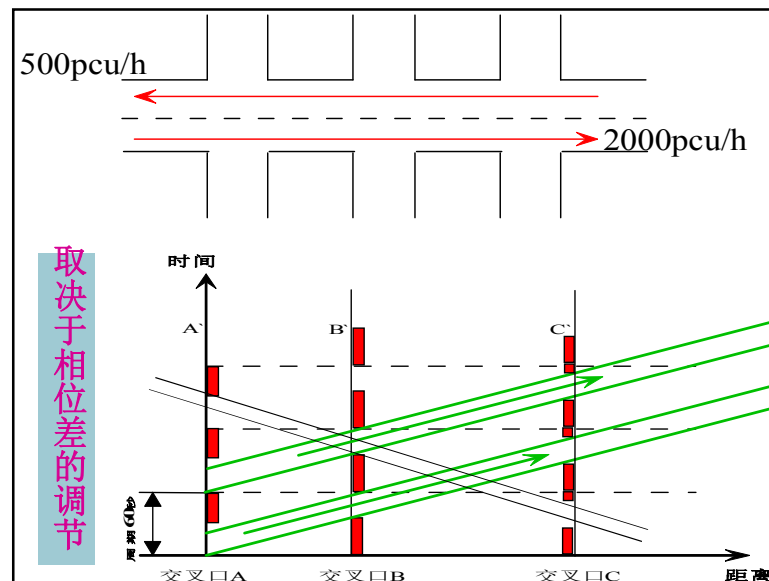
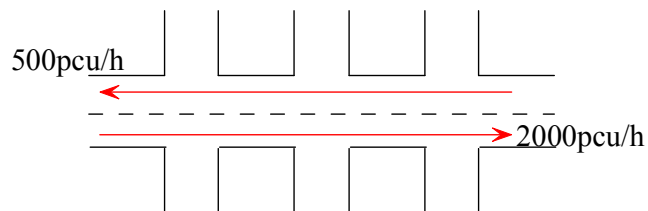
## 8.2 干线协调控制策略

1. 单向交通方式
2. 双向交通方式

## 8.2 干线协调控制策略

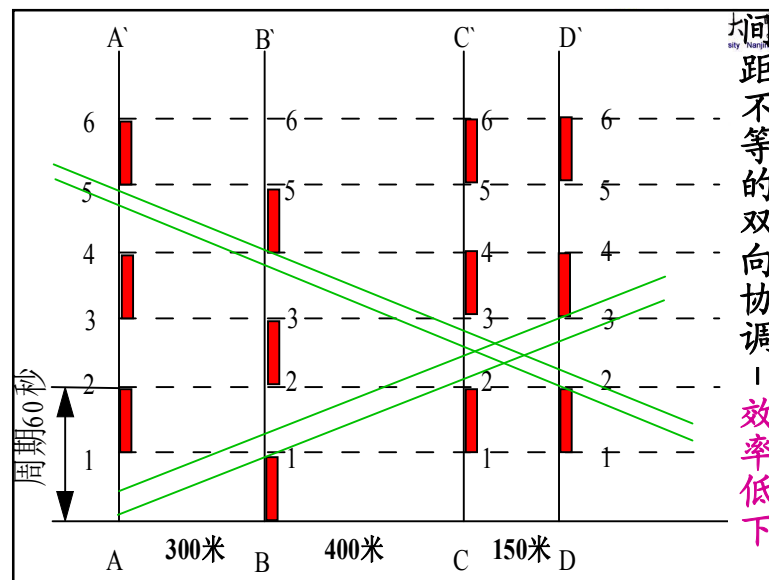
### 1. 单向交通方式

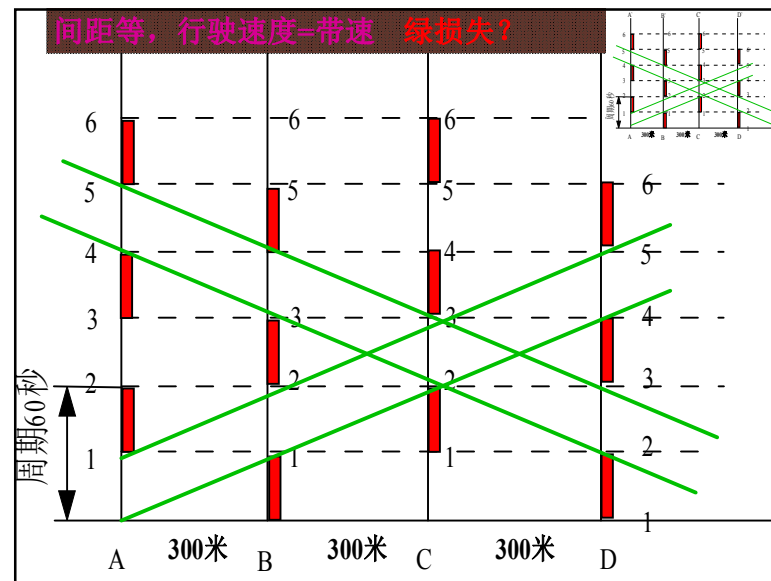
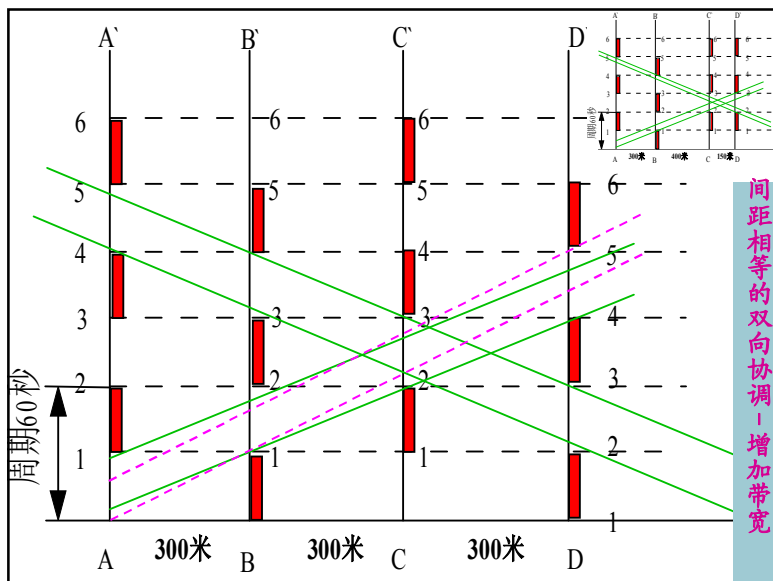
- 适用于单行线或双向交通量相差很大的道路。只照顾单向交通协调。



### 2. 双向交通方式

- 同时服务于干道两个行驶方向的协调控制
- 制约条件：
  - 各交叉口间距；
  - 交叉口间车辆行驶时间与系统周期、绿信比的大小。





2.双向交通方式—特殊控制

- (1) 同步式协调系统
- (2) 交互式协调控制
- (3) 推进式协调控制

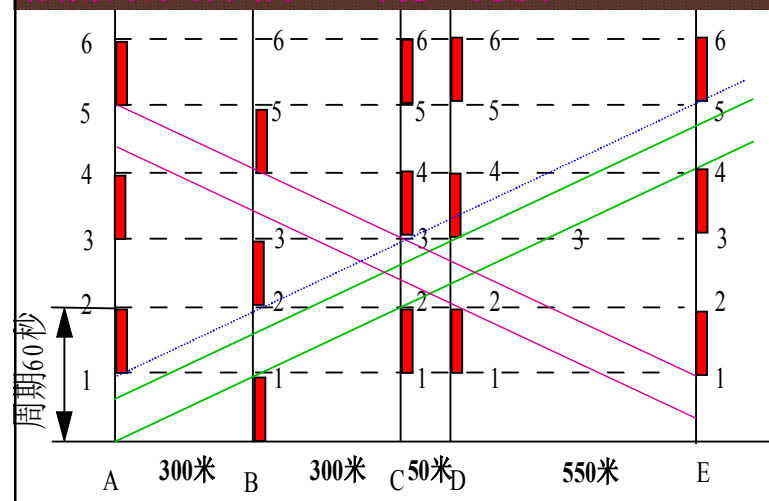
(1) 同步式协调系统

- 同一时刻，所有信号灯显示同一色灯。
- $s = vC$
- 相位差 = ?
- 鼓励驾驶员在灯色变换时提高车速，以便通过交叉口。通常适用于交叉口距离很小的道路。

## (2) 交互式协调控制

- 连接一个系统中相邻交叉口的信号在**同一时刻显示相反的色灯**。
- $s = vC/2$  (间距和周期长度)
- 各交叉口绿灯时间通常不同，有利于**限速**行驶。

$C=60s$ ; 交互式 $s=vC/2$ , 同步 $s=vC$ , 设计车速 $V=36km/h$ , 各有效绿灯时间均为30s, 带宽? 绿损失?

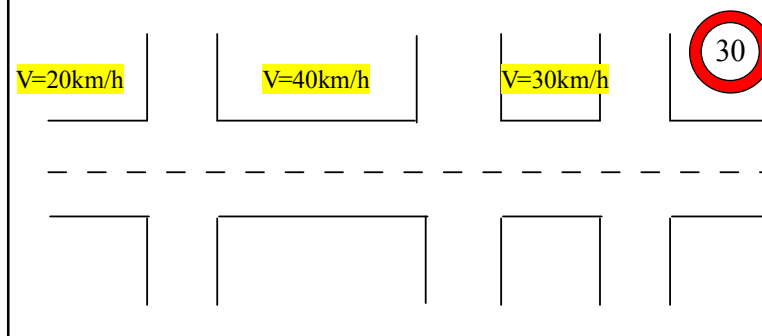


## (3) 推进式协调控制

- 协调**车速、交叉口间距、相位差**之间的关系，形成绿波控制。
- 又分为**简单续进系统**（同周期同配时方案）和**多方案续进系统**（不同周期不同配时方案）。

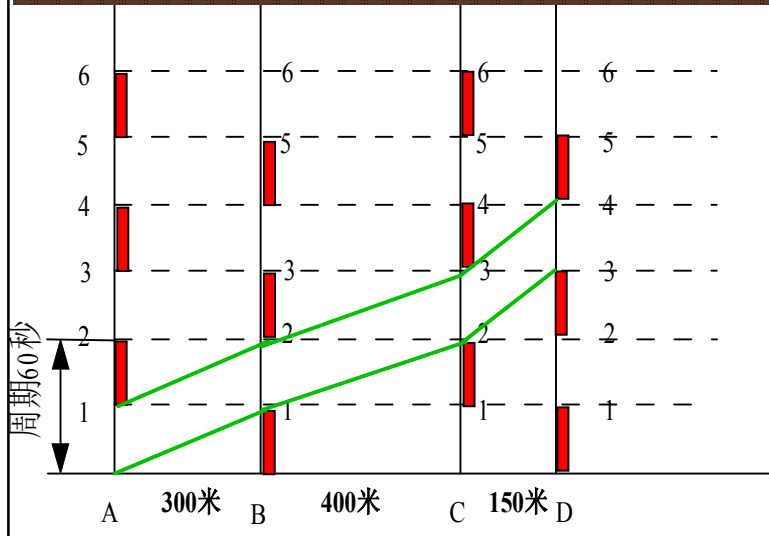
### 简单续进:

- 一个周期时长，一套配时方案，设计**车速**在各相邻交叉口间可不同。





### 简单续进—通过车速调节满足交叉口距离不等对相位差设置的影响



- **可变车速**指示标志
- 交叉口前若干地方设置可变车速标志

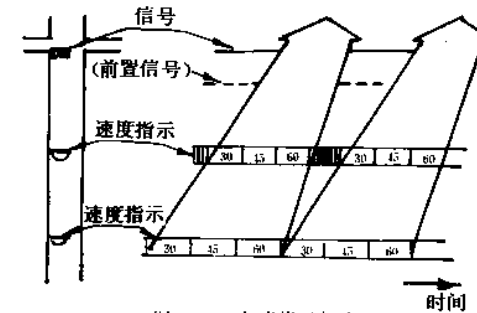
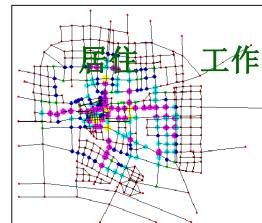


图 10-7 车速指示标志

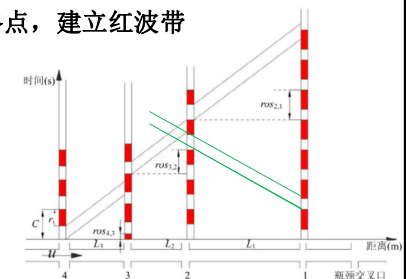
### 多方案续进

- **交通流变化、交通条件变化**—单个配时方案的不适用性而提出。
- 交通流增减引起的周期、绿信比等的变化
- 交通流流向的变化（早高峰出 $>$ 入、平峰出 $=$ 入、晚高峰出 $<$ 入）
- 单向交通、变向交通组织



### 多方案续进

- 面向局部拥堵/容量限制的**绿波与红波协调控制**
- 红波控制：
  - 基于下游交叉口交通拥堵严重的**截流控制**
  - 以下游拥堵交叉口为终点，建立红波带
- 主要应用
  - **出城方向绿波协调**
  - **进城方向红波协调**



### 8.3 干线协调设计的配时方法

#### 1. 时间——距离图的绘制

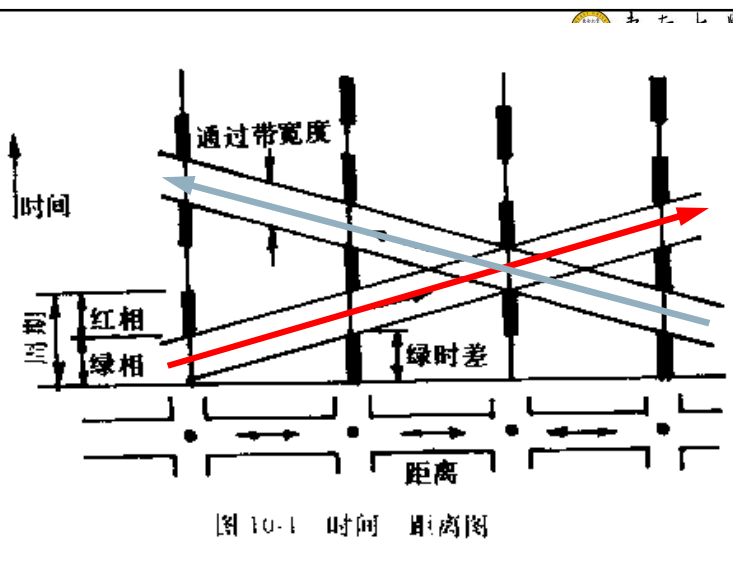
- 时间：纵坐标；
- 距离：横坐标；
- 斜率：车速的倒数；
- 平行斜线：带宽，带速，绿损失。

#### 2. 配时所需的数据（确定配时）

- (1) 相邻交叉口间距；
- (2) 街道及交叉口的几何条件；
- (3) 交通流量大小（转向）；
- (4) 交通管理规则；
- (5) 平均车速；

#### 3. 选定共用周期时长

- 目标是保证各交叉口（同步、交互）运行
- (1) 确定通过带速；
- (2) 选定周期时长范围
- (3) 通过公式  $s = vC$ 、 $s = vC/2$  等试算一组周期，再比较配时公式计算结果，选定周期



## 4. 绿波带的双向设计

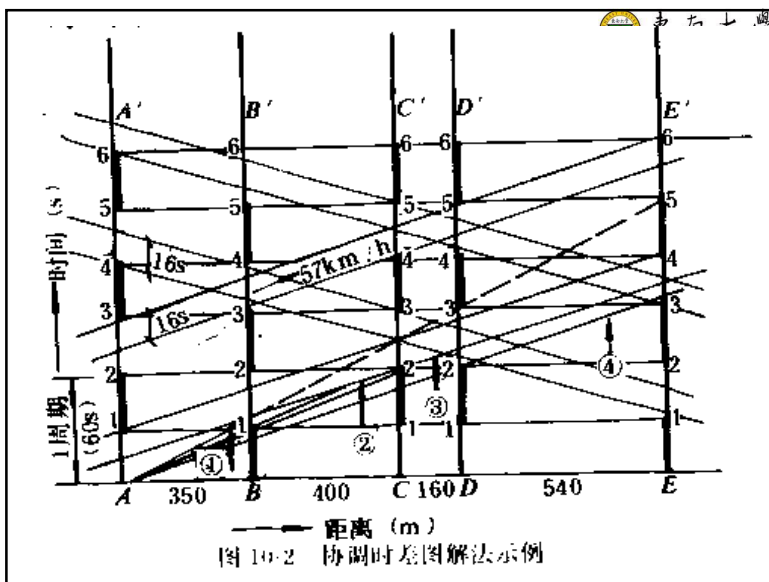
- 在距离-时间图上，反复调整各交叉口每一信号绿灯起始点的位置，最终获得一条绿波带；

## 5. 确定信号时差（相位差）

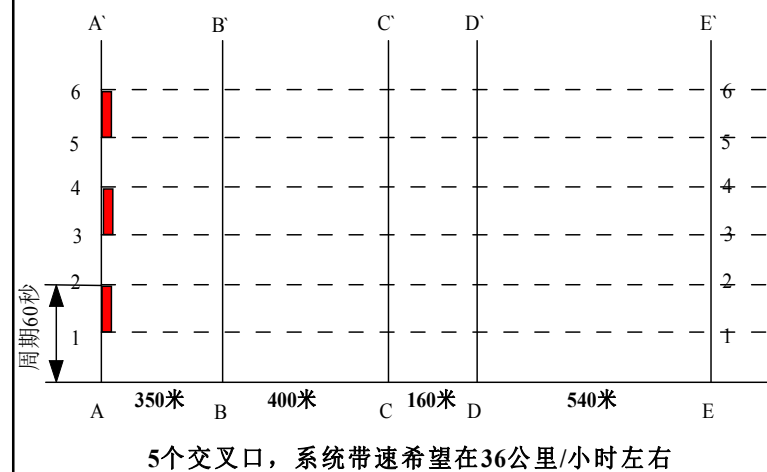
### （1）图解法

- 各交叉口配成同步与交互式相结合的双向线控系统。
- 以绿损失控制为目标。

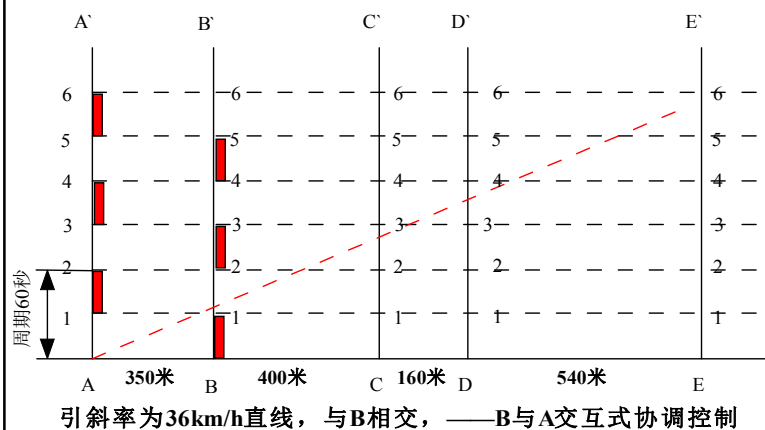
### （2）数字解法



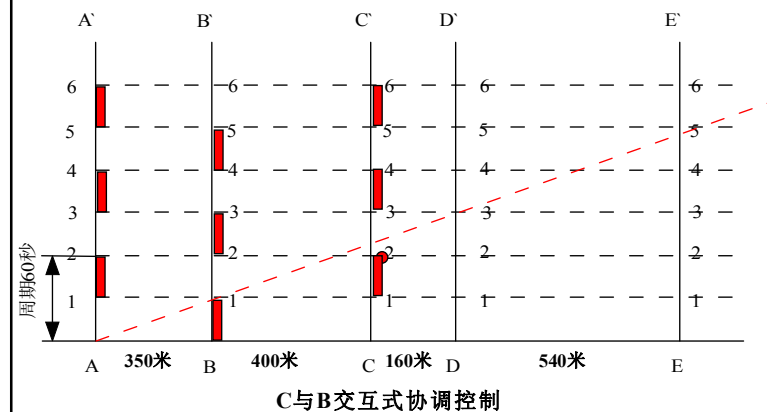
### 已知条件



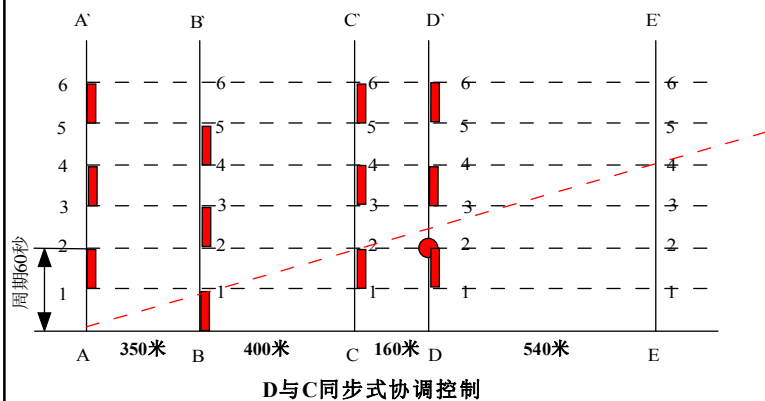
## 第一步:



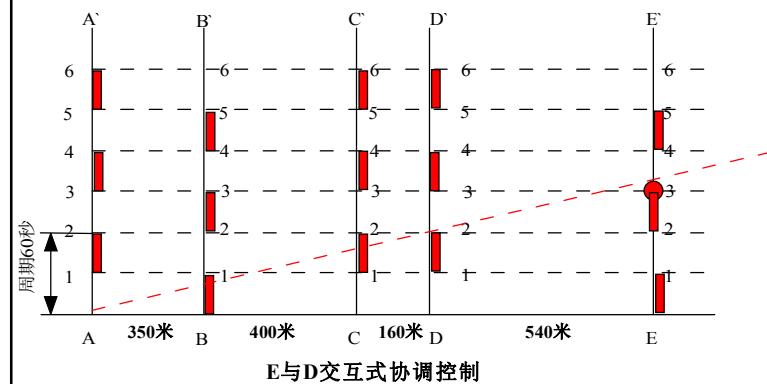
## 第二步:



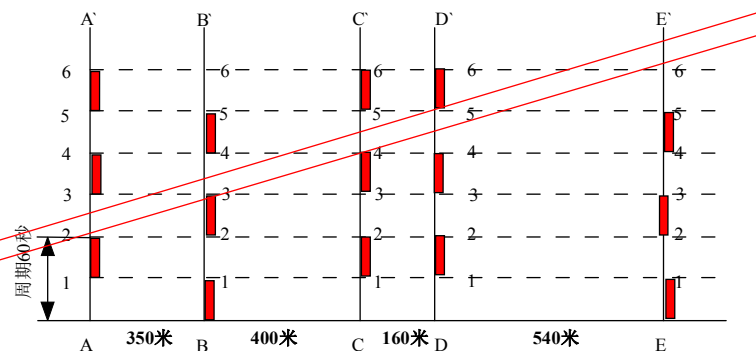
## 第三步:



## 第四步:



## 第五步



带宽最大为目标，画出通过带速，结果为带速57km/h，带宽16s

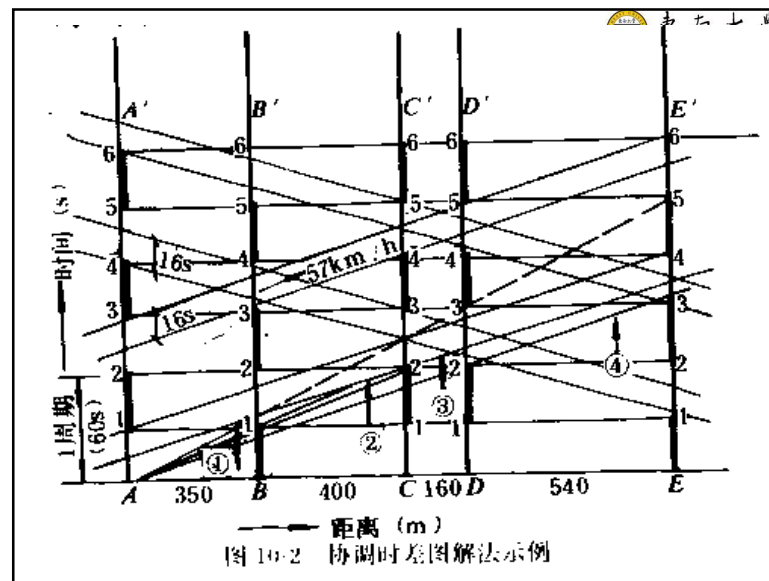
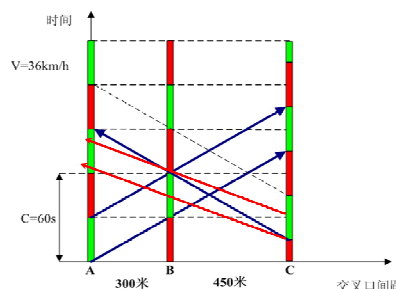


图 10-2 协调时差图解法示例

结论：带速过高。

- 调整周期长度，延长为**85~90秒**；
- 调整绿信比，重新计算。



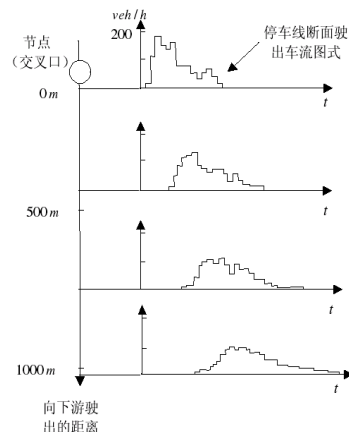
## 8.4 干线协调控制的影响因素

- 1、车流的到达特性
- 2、信号交叉口间距及交通组织
- 3、信号的相位及相序
- 4、公交车协调控制

## 1、车流的到达特性

- 脉冲到达—效果良好；**离散到达**—效果不好

- (1) 交叉口**间距**远，车队由集中变离散；
- (2) **平峰**和**高峰**时段差异；
- (3) 相交**车流**从路段或街道**转换**入干线



## (1) 车流到达特性-离散性

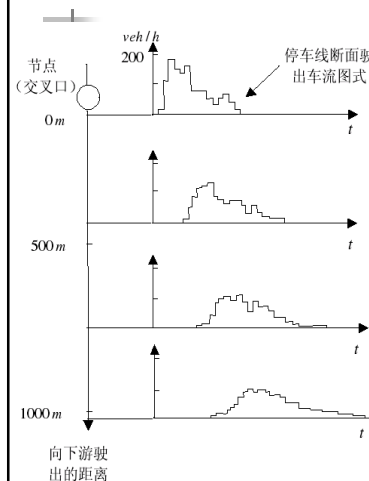
- 上游车队由于行驶车速差异，在到达下游停车线之前，车流峰值渐平、流量持续时间增加的现象，称为**车流“离散性”**。

## 车流离散系数的确定

- 用**F**值表达

$$F = 1 / (1 + at) \quad t = 0.8T$$

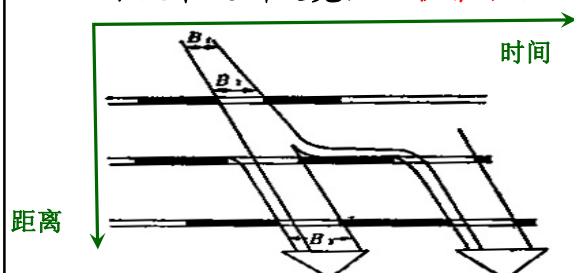
- **T**: 车流平均**行驶时间**；
- **a**: 拟合参数。



- 上游驶出图式坐标值乘以**F**，得到下游到达图式。

## 车流的到达特性—车流离散性

- 车队头尾部距离逐渐增大—离散
- 绿波带逐渐变宽，呈扩散状。



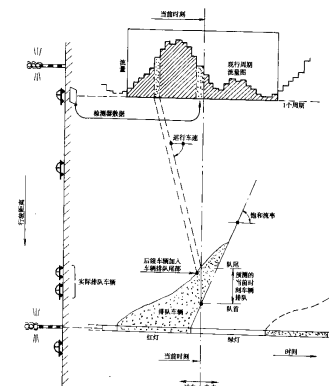
- ◆ 对离散性进行约束，预集合车队（前置信号，速度诱导）；
- ◆ 绿波带宽不作为常数，是扩散状；
- ◆ 双周期设置。

## (2) 车流到达特性-高、平峰

- 高峰时段交通量大，易于形成车队，线控效果较好；
- 非高峰时段相对较差。

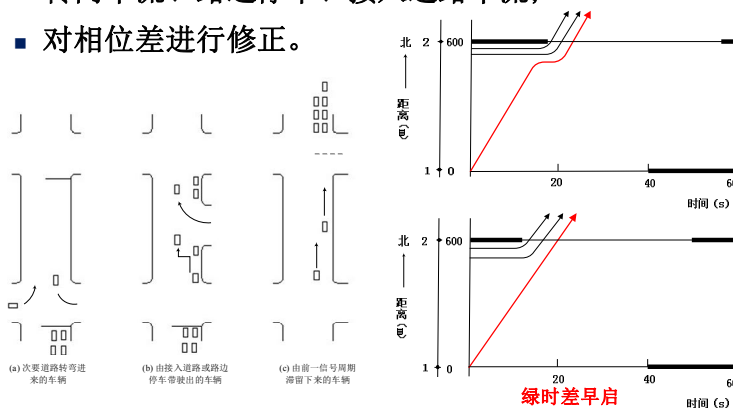
### ■ 感应式干线协调控制

- 设置条件：交通流（独立与协调）
- 感应线控系统（上、下游协调）



## (3) 车流到达特性-下游排队车辆

- 转向车流、路边停车、接入道路车流；
- 对相位差进行修正。



## 2、信号交叉口间距及交通组织

- 交叉口间距一般在100~1000米，距离越远效果越差，一般不超过600米。
- 单向交通有利于提高效率



### 3、信号相位及相序

#### ■ 相位

- 信号相位越多，对带宽影响越大；
- 简单的两相位交叉口有利于线控系统；

#### ■ 相序

- 同相位数量条件下，相序不同影响双向协调效果。

#### 相位

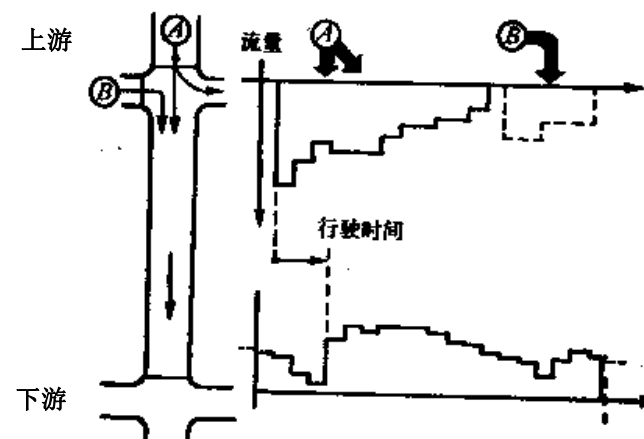
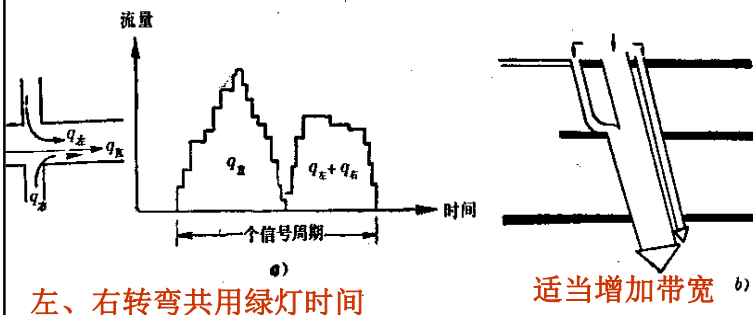


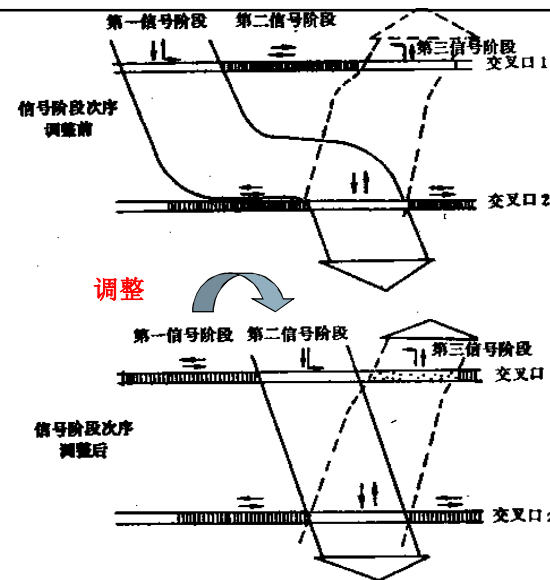
图5-12 从支路上转弯进入主路的车流图式

#### 相位

### 转弯车流的处理



#### 相序

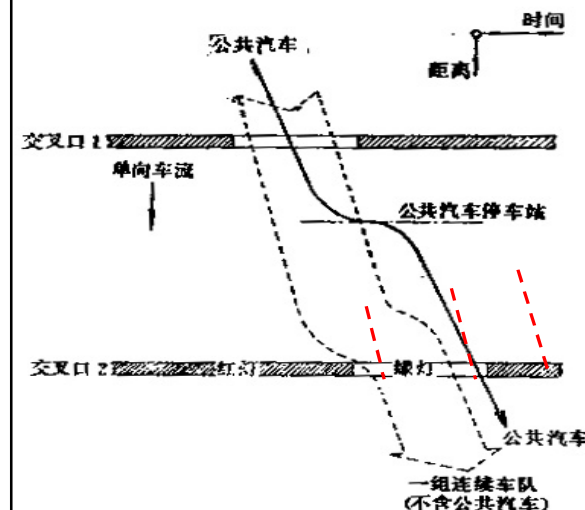




## 4、公共汽车的协调控制

### ■ 公交车运行特点:

- 车速低;
- 有停靠站上下客。



## 公交优先目标函数的确定

$$PI = \sum_{i=1}^n (W_i d_i + K_i B_i)$$

- $W_i$  除公交以外的车辆延误时间的加权系数;
  - $d_i$  除公交以外的车辆延误时间
  - $B_i$  公交延误时间
  - $n$  绿波控制范围内交叉口总数。
- 尽量减少对其他车延误;
- $W_i$  和  $K_i$  取决于公交车载客状况, 与延误时间折算的经济价值成比例。

## 总结

- 掌握干线协调控制的关键参数含义
- 理解“交叉口间距、行程时间、相位差”间的相互关系
- 掌握同步、交互式协调控制优化方法及关键参数计算
- 了解干线协调控制的影响因素及调控手段

## 主要参考文献

- 卢凯等.经典干道协调控制信号配时数解算法的改进.公路交通科技.2009.1
- 马楠等.基于双向绿波带宽最大化的交叉口信号协调控制优化.吉林大学学报.2009.9sup.
- Tian Z , Mangal V , Liu H. Effectiveness of lead-lag phasing on progression bandwidth. Journal of the Transportation Research Board , 2008 .