

A wide, multi-lane road with traffic lights and buildings under a blue sky. The road has white lane markings and a central median. There are several cars on the road, including a white taxi, a red car, and a blue car. The buildings on the left are commercial, and the building on the right is a modern, multi-story structure. The sky is blue with some light clouds.

# 第十二讲 快速道路交通控制

吴兵 李晔

同济大学交通运输工程学院



# 快速道路特征

- 具有高标准线形
- 有中央分隔带
- 全封闭
- 出入口部分或全部受控制
- 行驶车速受限制
- 相交道路全为立交
- 机动车专用道





# 管理与控制目标

- ◆ 减少拥挤
- ◆ 拥挤的后果
  - 速度降低
  - 延误增大
  - 流量减少
  - 运行费用增大，效率降低
  - 易发生尾撞和换车道事故增加
  - 排放量，导致空气污染
- ◆ 两类拥挤





# 拥挤分类

## ➤ 常发性拥挤

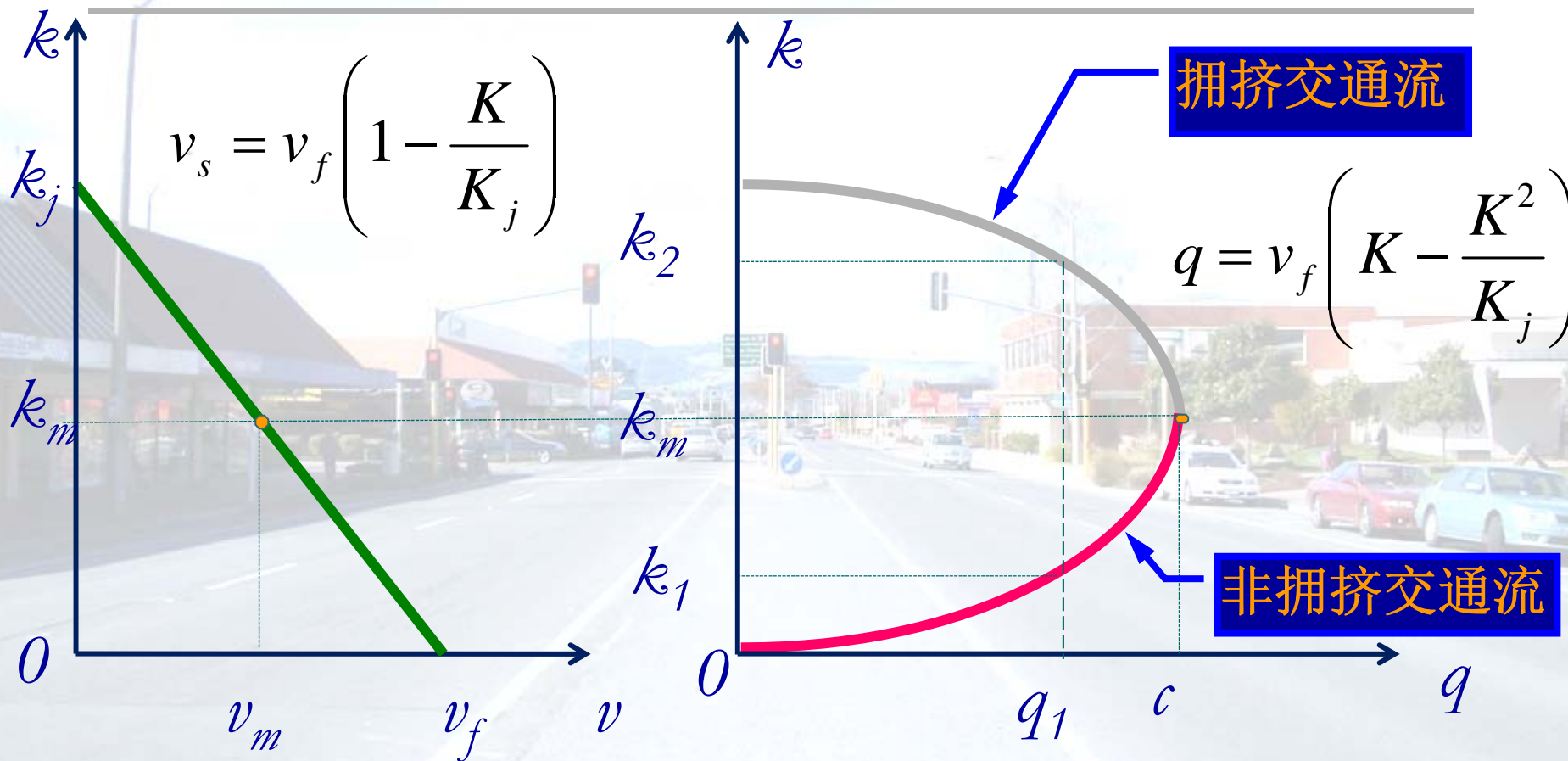
- 交通需求大于通行能力；
- 几何设计缺陷（车道减少，交织段过短，横断面较窄，标志短缺，视线不良，互通式立交不符合标准等）；

## ➤ 偶发性拥挤

- 交通事故
- 道路养护施工；
- 车辆抛锚；
- 货物掉落；
- 不利的气候条件。



# 拥挤分析





# HCM服务水平分级

服务水平	密度( <i>pcu/mile/lane</i> )
A	12
B	20
C	30
D	42
E	67
F	>67

注: 1英里=1.609公里



# 我国高速公路服务水平分级

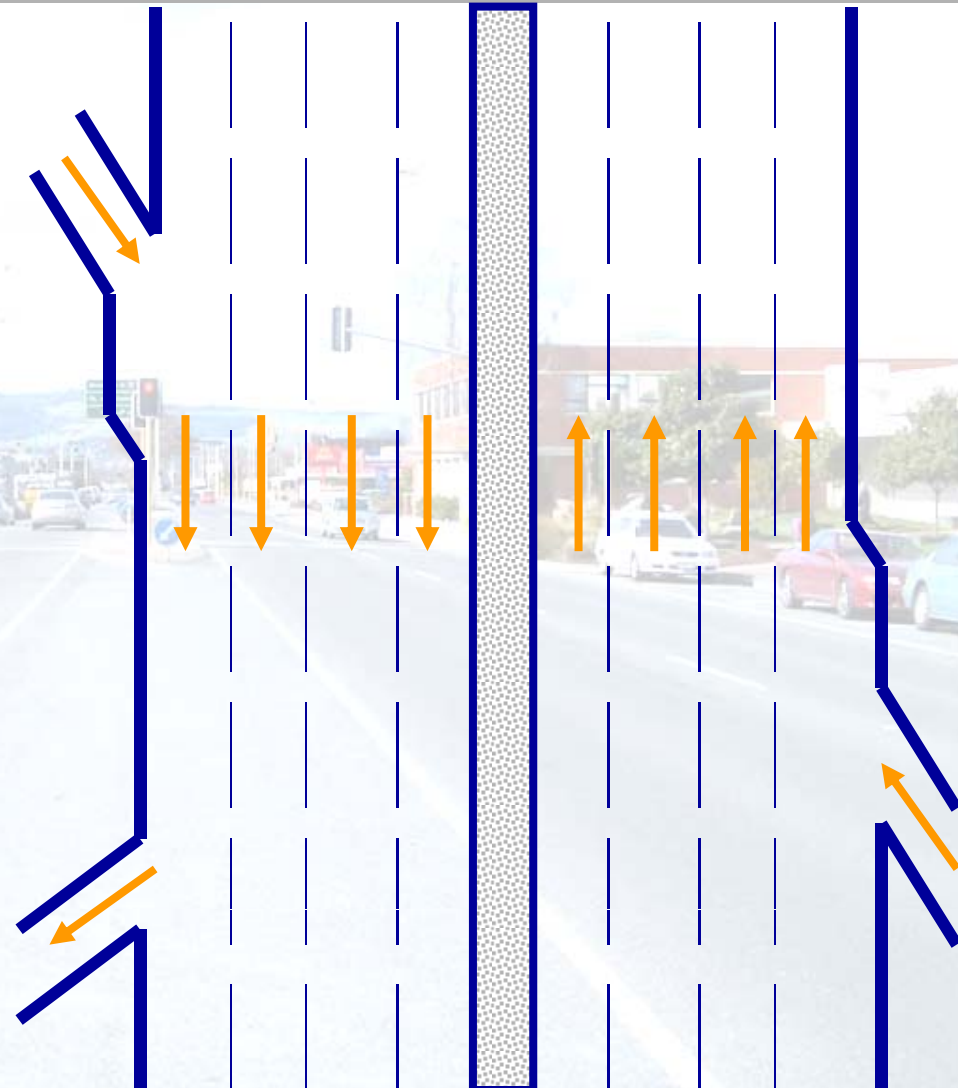
服务水平	密度(pcu/km/lane)
一	$\leq 7$
二	$\leq 18$
三	$\leq 25$
四	$\leq 45$

——《公路工程技术标准》（JTG B01-2003）

# 快速道路交通控制 主要内容



1. 主线控制;
2. 入口控制;
3. 出口控制;
4. 优先控制;
5. 通道控制。







# 主线控制

## ◆ 含义

对快速道路主线车道的交通调节、警告和诱导。

## ◆ 目标

减少拥挤，并改善快速道路运行的安全和效率；

## ◆ 作用

1. 改善交通状况。
2. 防止尾撞；
3. 简化事故的处理并尽快恢复正常的交通流状态；
4. 转移车流。
5. 减少驾驶员的不满和失误；
6. 调节车流。



# 主线控制

## ◆ 基本类型

- 定时主线控制：所用的控制配时参数和等级主要根据一天的情况而定
- 感应主线控制：根据实测的参数而确定控制方案

## ◆ 主要控制方法

- 可变限速控制，将速度限制与最大流量相对应
- 可逆车道
- 车道关闭调节控制（很少运用）





# 入口匝道控制

- ◆ 目标
- ◆ 手段
- ◆ 作用
- ◆ 控制有效的条件
- ◆ 方法
  - 关闭
  - 定时调节控制
  - 感应调节控制
  - 系统控制





# 定时调节控制

## ■ 原理

按固定的色灯变化允许匝道车辆进入主线车道。

## ■ 调节率计算

### ● 原则

减少主线拥挤，提高汇入安全

### ● 方法

按上游交通需求，下游通行能力及匝道到达流量之间的关系确定调节率。



# 定时调节控制

## ◆ 调节的两种方式

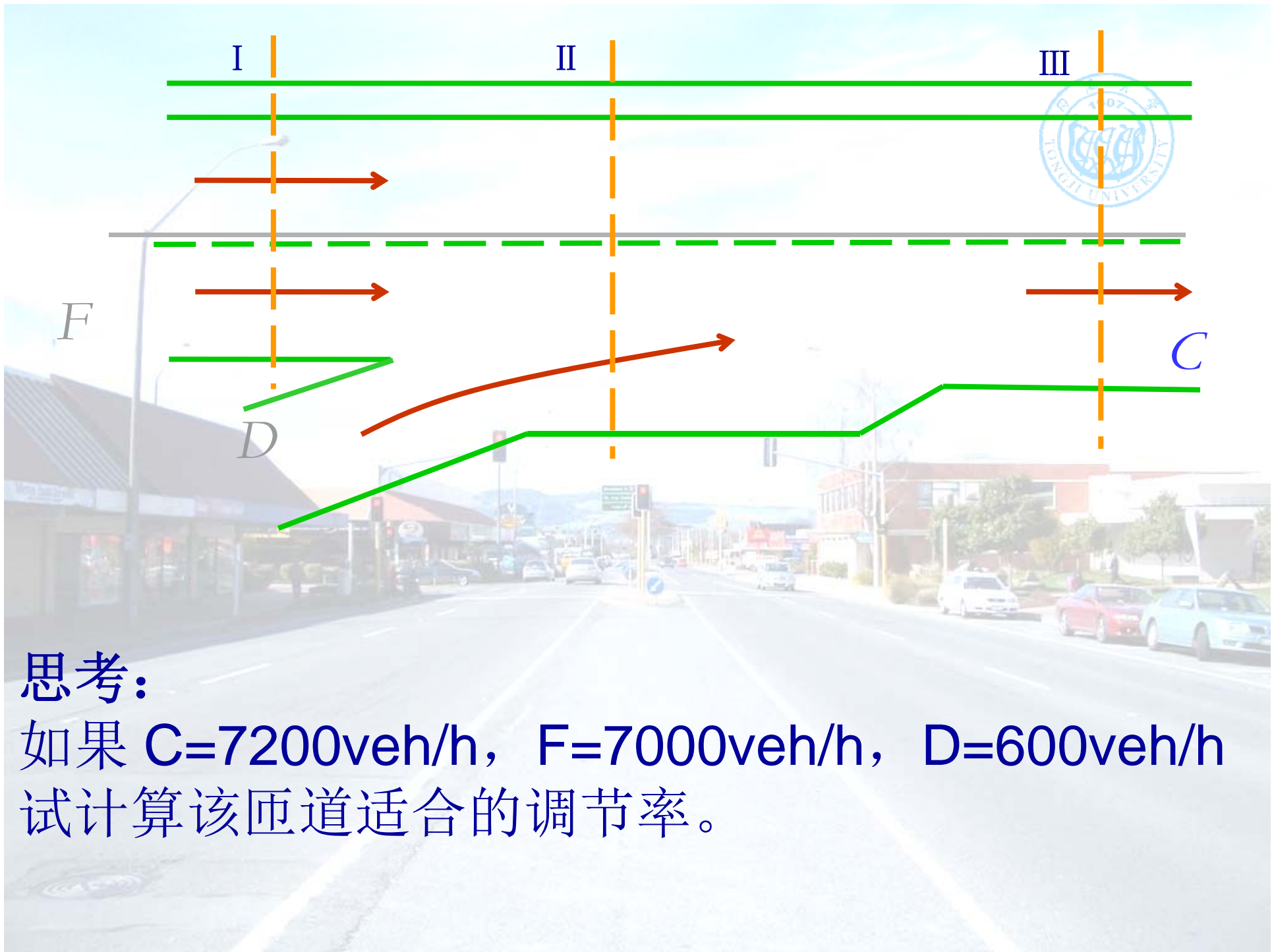
① 单车调节;

② 车队调节:

➤ 单列调节

➤ 双列调节





思考:

如果  $C=7200\text{veh/h}$ ,  $F=7000\text{veh/h}$ ,  $D=600\text{veh/h}$   
试计算该匝道适合的调节率。



# 调节率计算判断方法

## ◆ 不需调节

上游需求 $F$ +匝道需求 $D \leq$ 下游通行能力 $C$

## ◆ 调节无效

上游需求 $F >$ 下游通行能力 $C$

## ◆ 调节

上游需求 $F <$ 下游通行能力 $C$ ，但  
上游需求 $F$ +匝道需求 $D >$ 下游通行能力 $C$



# 定时调节控制

## ◆ 计算调节率应注意

- 不产生拥挤的调节率： $r=C-F$
- 考虑合流的安全性，还要分析合流所需的时间。  
影响合流时间的因素有：
  - 停车点到主线的距离；
  - 匝道的几何参数（坡度，进入角，加速车道长度等）；
  - 车型；





# 调节率计算

## ◆ 单车调节

通常每次绿灯只允放入一辆车，而每周期绿灯取3秒，其余为红灯。

例如：

已知调节率为 $600\text{veh/h}$ 或 $10\text{veh/min}$ （ $6\text{s/veh}$ ），  
则绿灯为3秒，红灯也为3秒；

如果调节率为 $300\text{veh/h}$ 或 $5\text{veh/min}$ （ $12\text{s/veh}$ ），  
则绿灯为3秒，红灯为9秒。



# 调节率计算

## ◆ 车队调节

适用于计算调节率大于 $900\text{veh/h}$ 或 $15\text{veh/min}$ 的情况，即每周期允许两辆或两辆以上的车辆进入快速道路。

车队调节时的调节周期由调节率和每周期平均放行的车辆数决定。



# 车队调节率计算示例

因为调节率 $r=18\text{veh}/\text{min}$ , 可以考虑两种情况:

(1) 每周期放行2辆车, 即 $q=2\text{veh}/\text{周期}$ , 则每分钟的周期数 $n$ 为:

$$n=r/q=18/2=9\text{周期}/\text{min}$$

于是, 周期长度为:

$$C=60/9=6.67\text{s}$$

(2) 每周期放行3辆车, 即 $q=3\text{veh}/\text{周期}$ , 则:

$$n=18/3=6\text{周期}/\text{min}$$

$$C=60/6=10\text{s}$$



# 周期计算公式

$$C=3600q/r \quad (\text{s})$$

其中:

$$r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$$

$$r_{\min} = 180 \text{ veh/h}$$

$$r_{\max} = 900 \sim 1100 \text{ veh/h}$$

$$q = 1, 2, 3 \dots \dots, \text{veh/h}$$



# 两种车队调节形式

- ◆ 由于红灯和绿灯时间的分配还与车队调节的方式有关，所以还要区分是单列还是双列调节。
- ◆ 单列调节  
每周期车辆一辆接一辆地放行
- ◆ 双列调节  
每周期并列两排放行车辆



# 感应调节控制

## ◆ 原理

根据实测的（通过检测器）交通需求和通行能力的关系来控制匝道车辆进入干道。

## ◆ 依据

交通流的基本关系,所有这些关系取决于多种影响因素。

## ◆ 基本方法

- 通过实测确定拥挤流和非拥挤流的临界值；
- 再通过实测而获得的参数与上述临界值进行比较，即可知交通流是处于什么状态；
- 确定不引起拥挤的最大匝道流量；

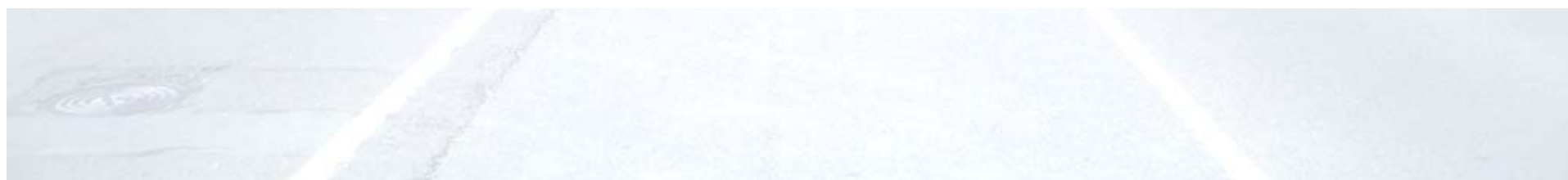
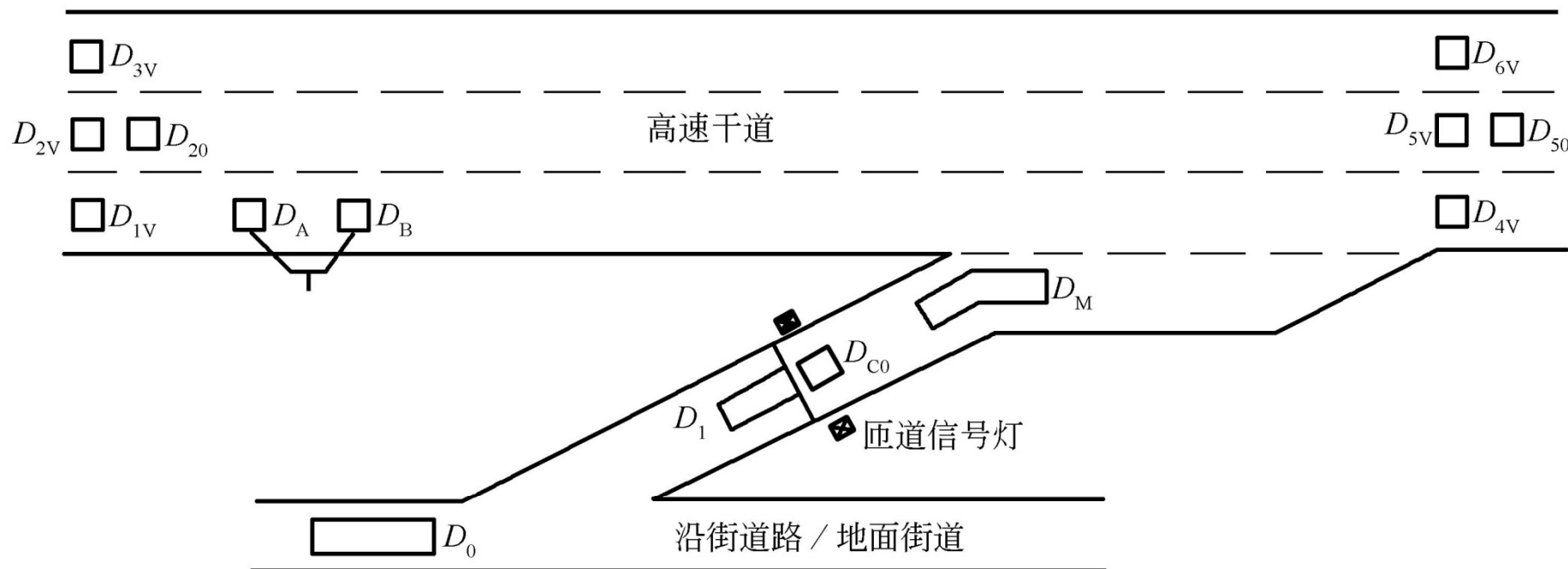


# 感应调节控制

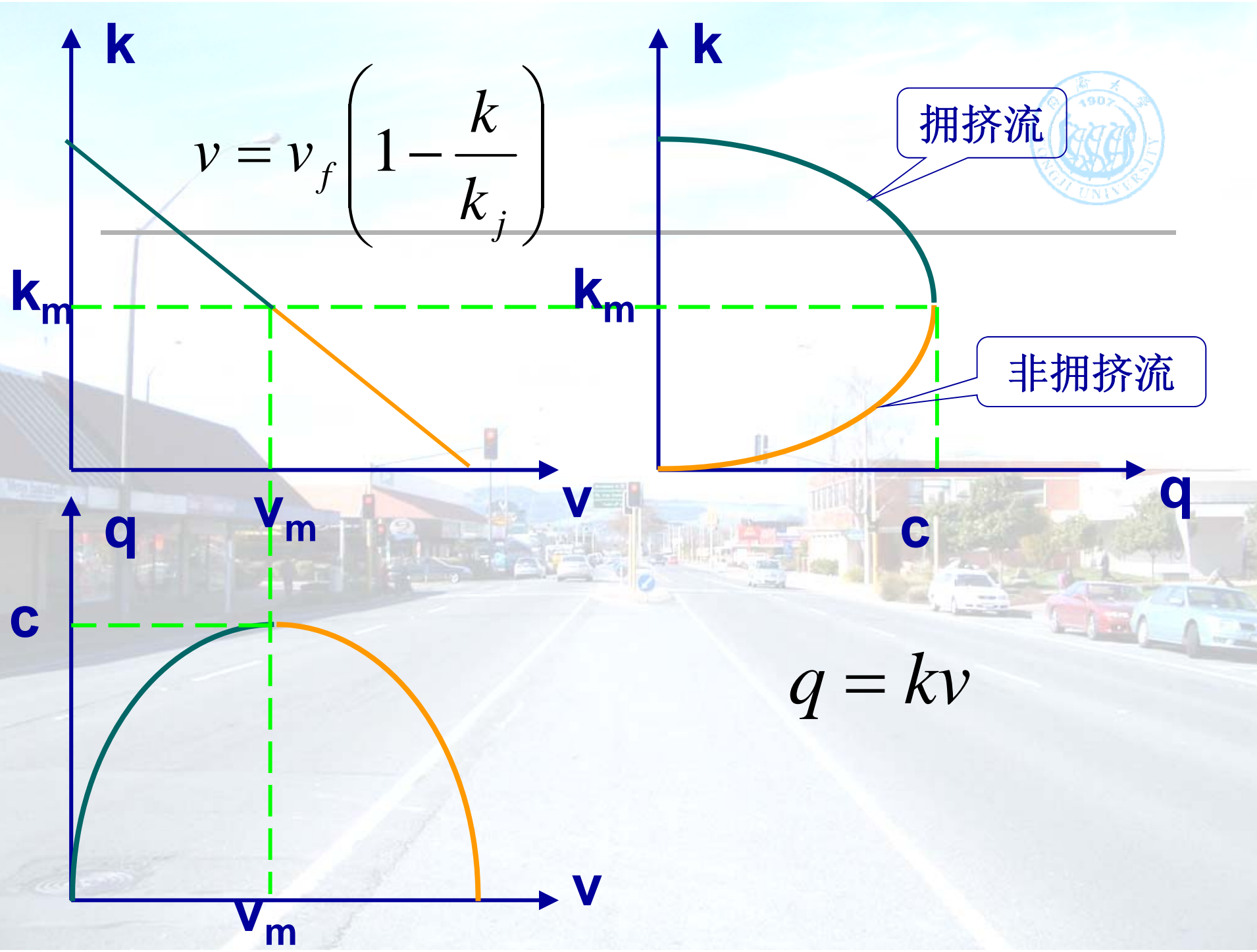
- ◆ 控制方法
  - 交通量—通行能力差额法
  - 占有率法
  - 路肩车道间隔法
  - 可插间隙交汇法
  - 移动交汇法
- ◆ 系统设备



# 感应调节控制系统设备







$$v = v_f \left( 1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

拥挤流

非拥挤流

$$q = kv$$



# 系统控制（集中控制）

## ◆ 含义

将数个匝道出入口一起考虑的控制方法

## ◆ 原则

不是考虑单个匝道的需求—供应关系，而是将数个相互影响的出入口匝道作为一个系统一起加以控制和调节

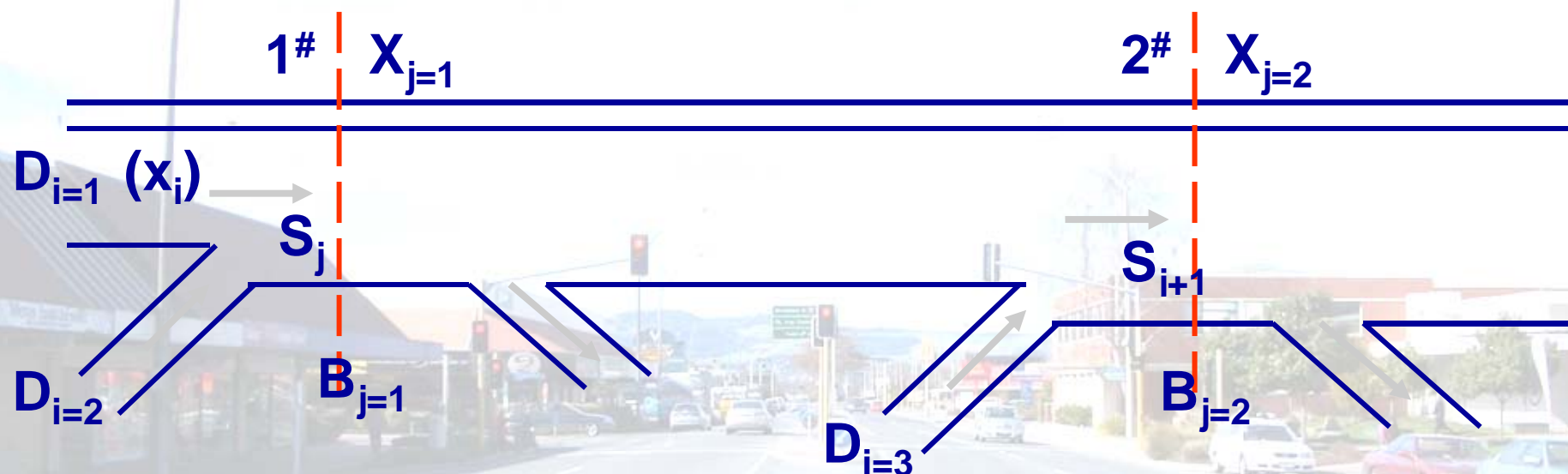
## ◆ 控制类型

- 定时调节（包括关闭匝道）；
- 感应调节；
- 可接受间隔汇合控制；

## ◆ 调节率计算



# 集中控制调节率计算图例



- $x_i$ : 在入口*i*处的容许流量;
- $D_i$ : 在入口*i*处的需求;
- $A_{ij}$ : 由入口*i*进入并通过路段*j*的流量百分比;
- $S_j$ : 路段*j*的需求;
- $B_j$ : 路段*j*的通行能力;

# 集中控制调节率计算



## ◆ 平衡法

$$S_j = \left( \sum_{i=1}^j A_{ij} \cdot X_i \right) + A_{i+1,j} \cdot D_{i+1}$$



# 集中控制调节率计算

## ◆ 线性规划法

目标:  $Max \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) = Max(z)$        $\left( z = \sum_{i=1}^n x_i \right)$

约束条件 (s.t.) :

1.需求供应能力:  $\sum_{i=1}^n A_{ij} \cdot x_i \leq S_j, \quad i = 1, 2, \dots, n-1$

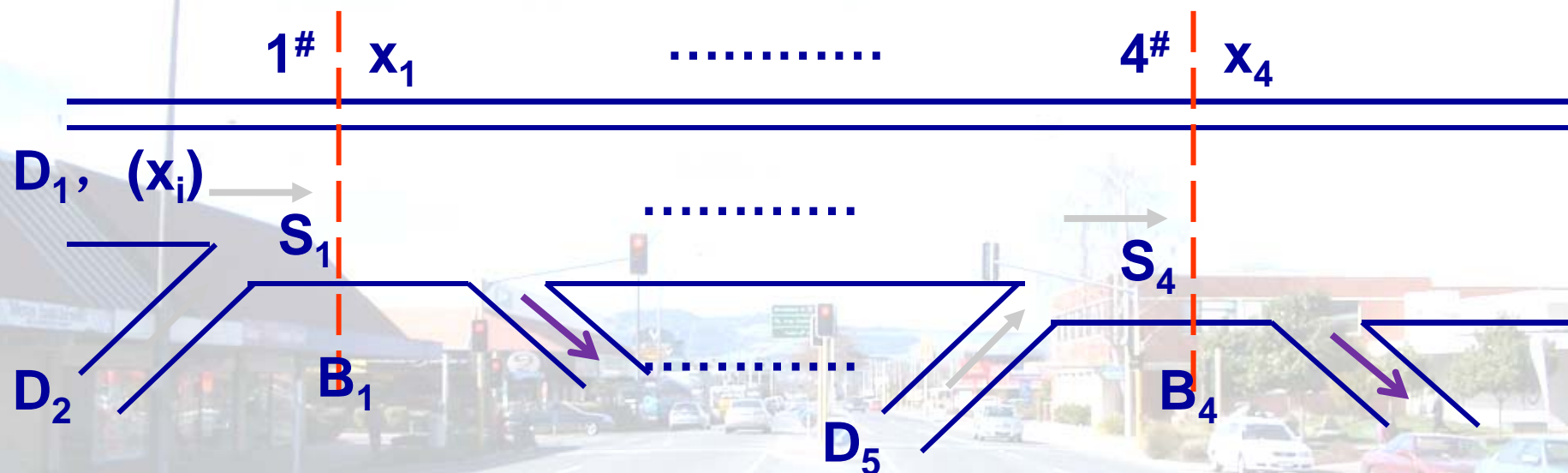
2.主线容许交通量=主线需求量

3.入口匝道容许交通量 $\leq$ 入口匝道需求:  $x_i \leq D_i, \quad i=2, 3, \dots, n$

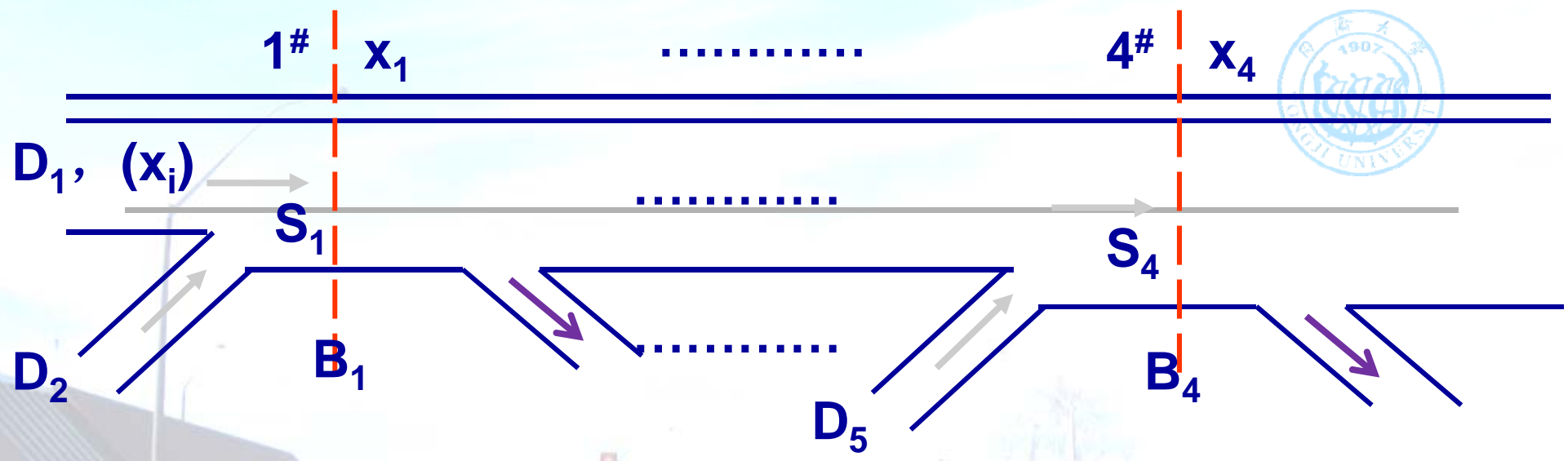
4.入口匝道容许交通量 $\geq$ 最小的容许交通量:  $x_i \geq x_{imin} \geq 0, \quad i=2, 3, \dots, n$

5.入口匝道容许交通量 $\leq$ 最大的容许交通量:  $x_i \leq x_{imax}, \quad i=2, 3, \dots, n$

# 计算示例



i或j	1	2	3	4	5
$S_i(\text{veh/h})$	5400	4800	5200	5200	—
$D_i(\text{veh/h})$	4000	800	600	800	600



**$A_{ij}$ 值**

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	1.0	0.95	0.9	0.85
2	1.0	0.75	0.7	0.6
3	—	1.0	0.9	0.85
4	—	—	1.0	0.90
5	—	—	—	1.0



# 计算示例

解：目标：Max (z) :  $z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$

由条件 (1) 得：

$$j=1: x_1 + x_2 \leq 5400$$

$$j=2: 0.95x_1 + 0.75x_2 + x_3 \leq 4800$$

$$j=3: 0.9x_1 + 0.7x_2 + 0.9x_3 + x_4 \leq 5200$$

$$j=4: 0.85x_1 + 0.6x_2 + 0.85x_3 + 0.9x_4 + x_5 \leq 5200$$

由条件 (2) 得：

$$x_1 = D_1 = 4000$$

由条件 (3) 得：

$$x_2 \leq 800; \quad x_3 \leq 600; \quad x_4 \leq 800; \quad x_5 \leq 600$$

$$240 \leq x_i \leq 960 \quad i=2, 3, 4, 5$$

将  $x_1 = 4000$  代入并简化上式，得：

$$\text{Max}(z'): \quad z' = x_2 + x_3 + x_4 + x_5$$





# 计算示例

令  $r_i = x_i - 240$ , 则:

$$3r_2 + 4r_3 = 2320$$

$$7r_2 + 9r_3 + 10r_4 = 9760$$

$$12r_2 + 17r_3 + 18r_4 + 20r_5 = 19920$$

$$r_2 = 560, r_3 = 160, r_4 = 440, r_5 = 120,$$

$$x_1 = 4000, x_2 = 800 = D_2, x_3 = 400 < D_3 = 600,$$

$$x_4 = 680 < D_4 = 800, x_5 = 360 < D_5 = 600$$

即各入口调解率分别为:

上游主线: **4000veh/h**      4号入口: **680veh/h**

2号入口: **800veh/h**      5号入口: **600veh/h**

3号入口: **400veh/h**



# 出口匝道控制

- ◆ 出口控制通常很少运用，因为它与快速道路控制目标相矛盾。通常使用的方法是关闭出口，但这很难令驾驶员接受
- ◆ 要注意出口匝道前方交叉口的衔接





# 优先控制

- ◆ **HOV**专用车道控制
- ◆ 逆向车道控制
- ◆ 可变车道控制
- ◆ 优先进入控制



# 通道控制



- ◆ 目的

交通需求和通道通行能力之间获得最佳平衡；

- ◆ 通道的组成

快速道路和能为快速道路交通需求提供服务的可替换的一般道路；

- ◆ 原则

在综合运用前述各控制方法的基础上，采用系统的观点，即系统的总和大于各部分之和；

- ◆ 方式

- 限制：使流量低于通道的通行能力；
- 转移：把超负荷流量转移到其他有剩余通行能力的道路上；

- ◆ 控制战略

综合运用快速道路各种控制技术、驾驶员情报系统以及监视系统。在通道控制中，定时调节控制已不再适用。

