

道路安全设计、评价与运营管理研究回顾

Review of the researches
on the road safety design, audit and operating safety management

Zhongyin Guo, Professor

June 10, 2016



The 4th International Symposium on Traffic Safety, Tongji University



声 明

- 本文档是根据郭忠印教授课题组多年研究成果及郭忠印教授多年授课经验总结，仅作学习讨论之用，不得用于商业用途，同时应遵守著作权法及其他相关法律的规定；
- 由于文档部分内容时间较长，难免有所疏漏；如若文档中引用了您的研究成果或图片等，在此表示感谢，不一一备注；
- 如有问题，请联系GuoGroup@tjroad.com，或致电021-69585413。

Contents:

二十多年的研究历程
Twenty years research progress of the research group

道路环境安全性能
safety performance of road field

道路安全性基础理论与方法道路环境安全性能分析方法
The analysis method of road safety performance

道路安全设计与评价
road safety design and audit

路域环境安全养护管理系统
road safety management system

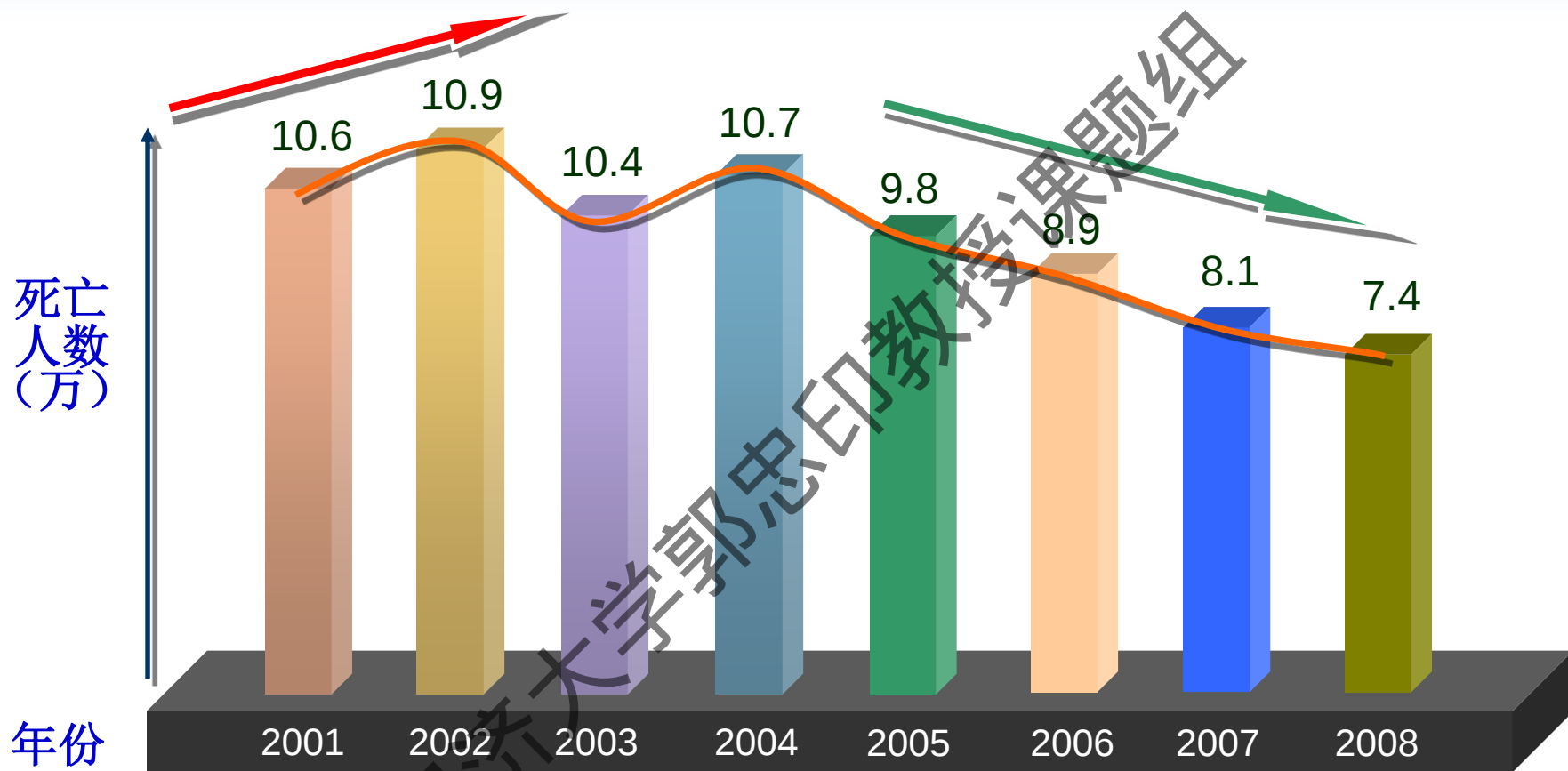
交通运行安全管理与控制技术
Traffic operating safety management and control technology

道路交通安全实验技术
Road safety experimental technology and method



中国道路交通运营安全状况

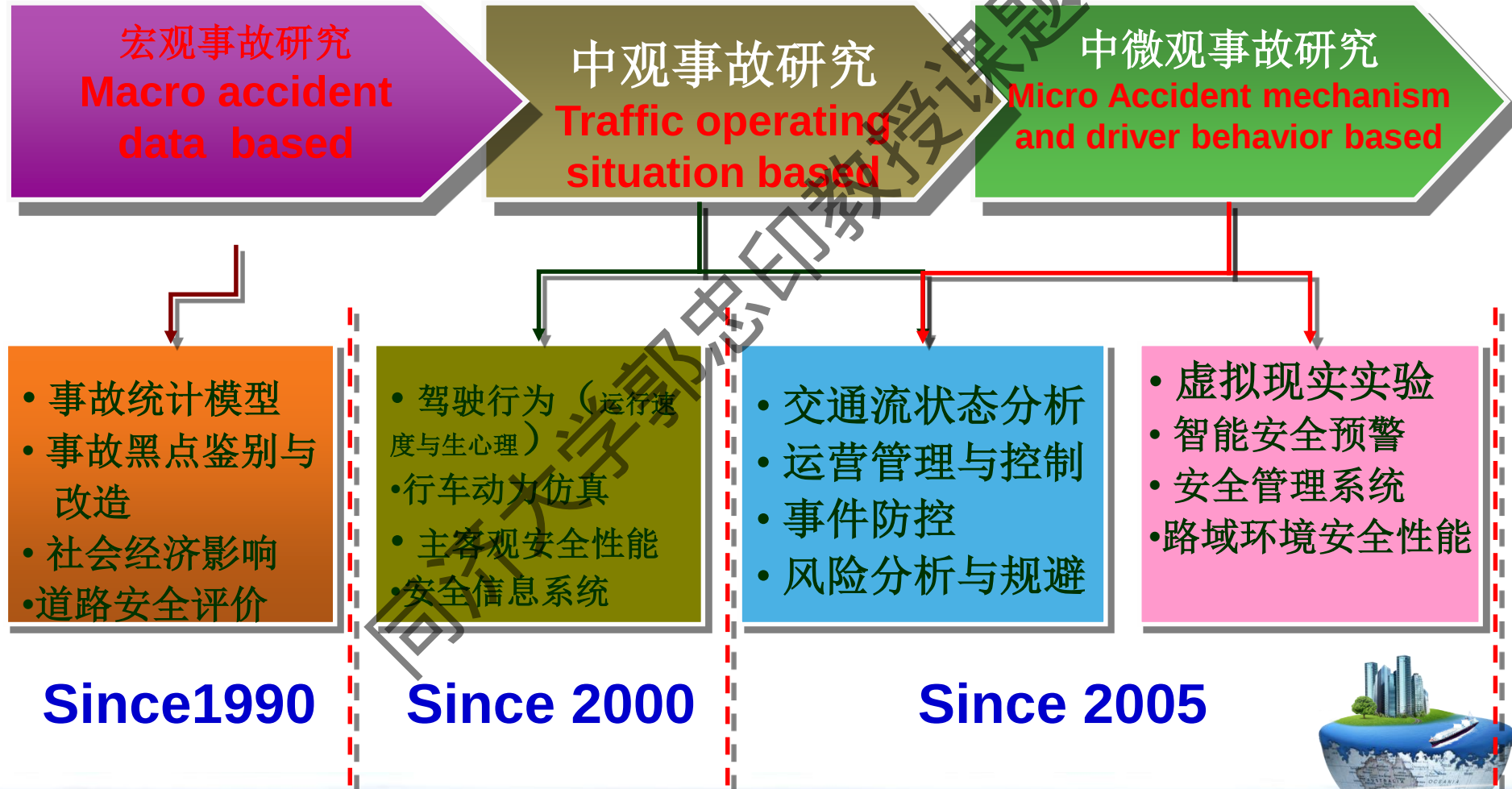
The road accident data of China



历年中国道路交通事故死亡人数（万人）



Twenty years-progress of road safety research activities of my research group



路域环境安全性能

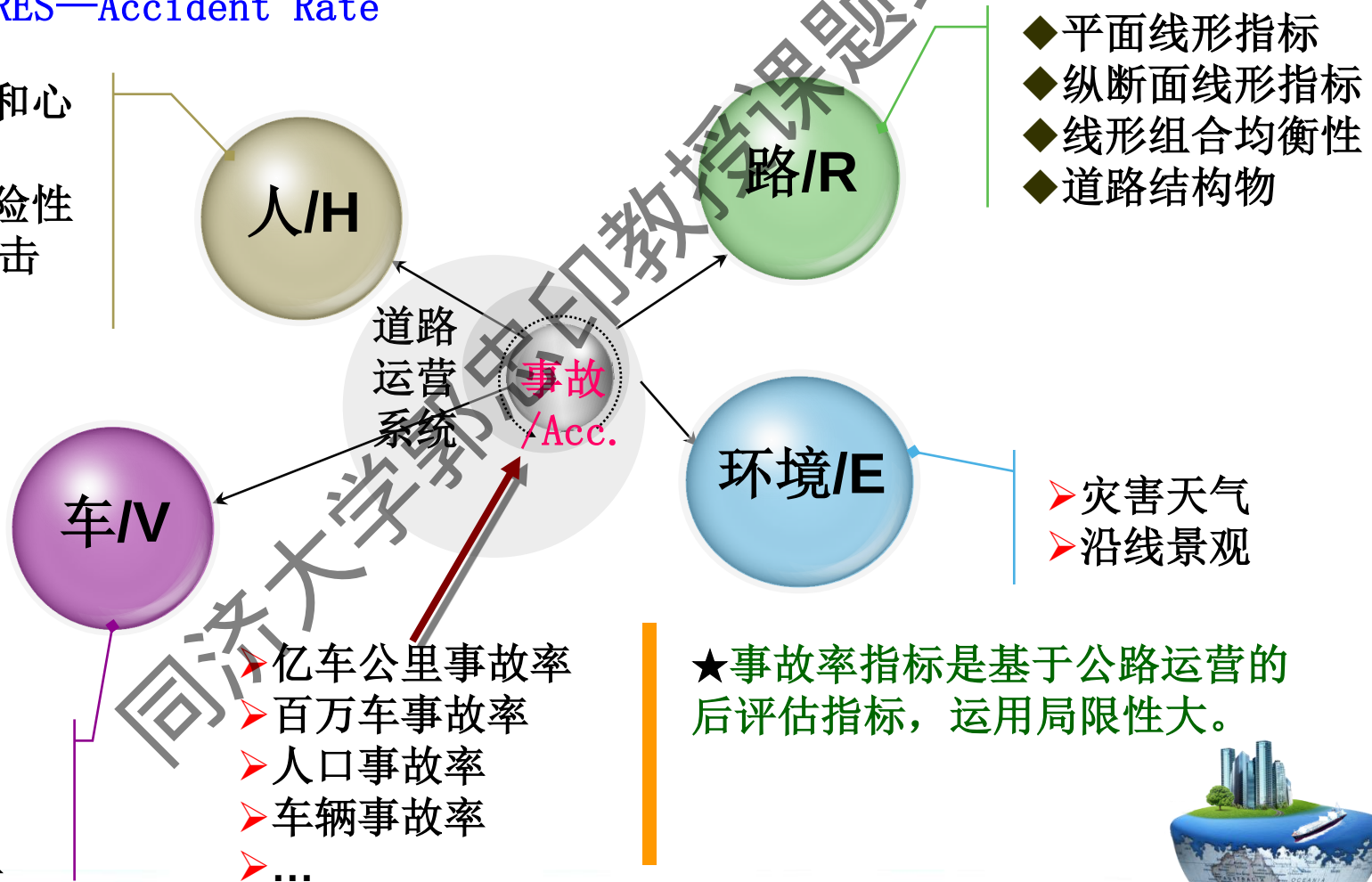
The safety performance of road environment



The definition of road safety performance

Macro accident based: The accident rate as being the safety index of road safety performance and traffic operating. 安全评价与控制指标——事故率指标. HVRES—Accident Rate

- ✓ 驾驶员生理和心理特征指标
- ✓ 驾驶行为冒险性（侵略性或攻击性）



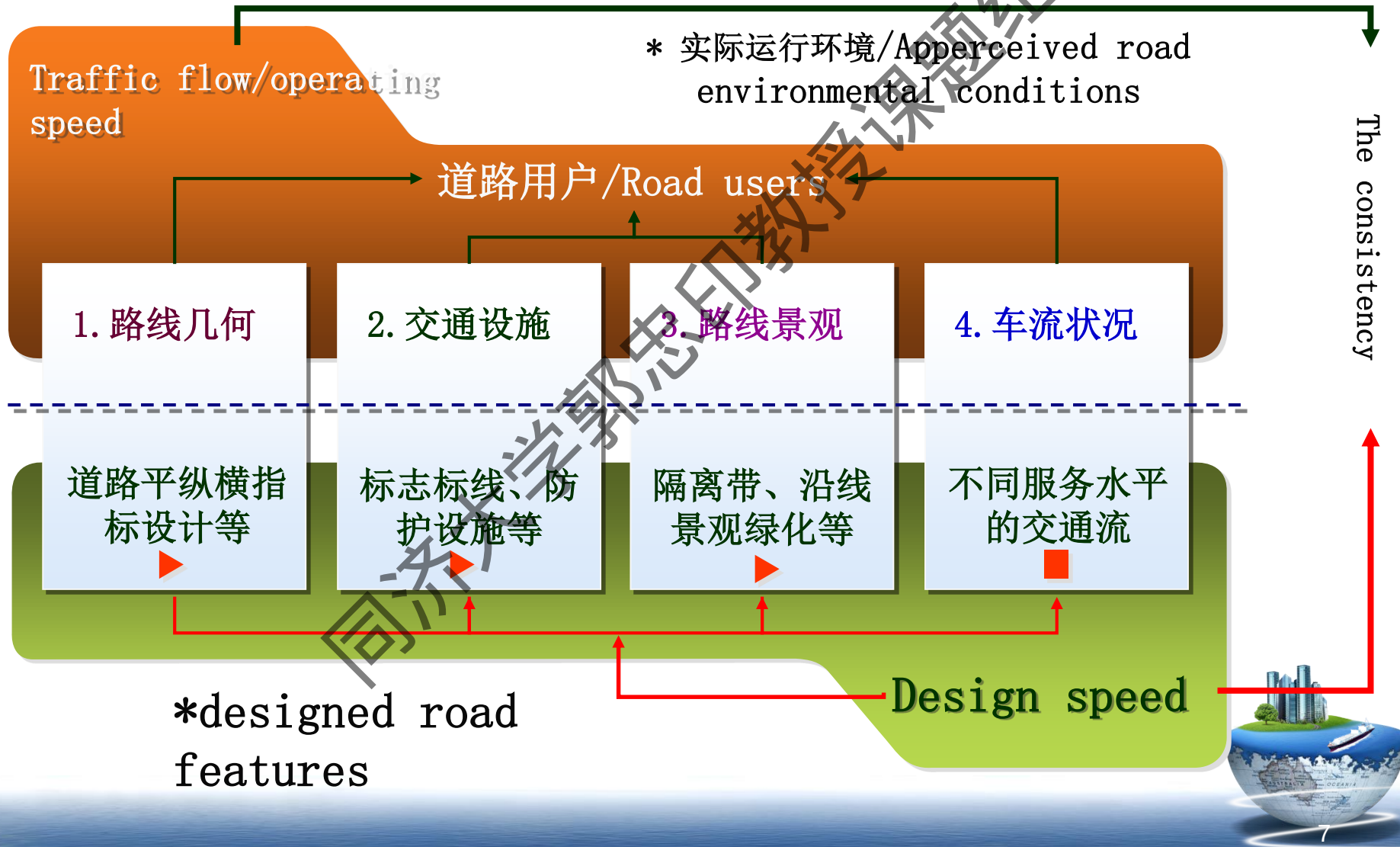
★ 事故率指标是基于公路运营的后评估指标，运用局限性大。



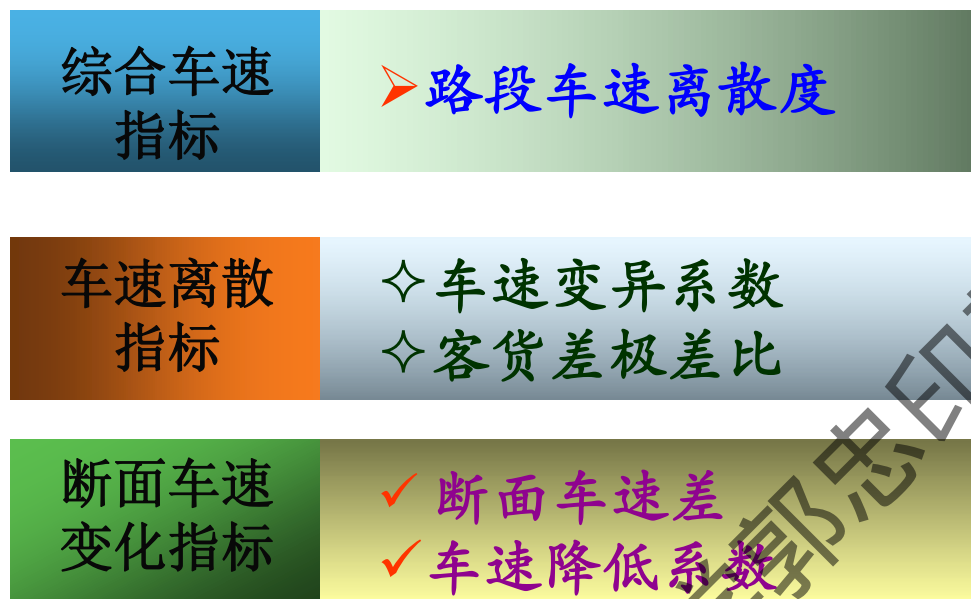
Traffic operating situation based:

The consistency among design speed and operating speed

路线设计速度与实际运行速度的一致性



运行速度预测与线形评价: Various operating speed parameters:



评估方法 {

- ◇ 采用非线性拟合方法
- ◇ 多个运行车速特征指标与事故率的关系模型

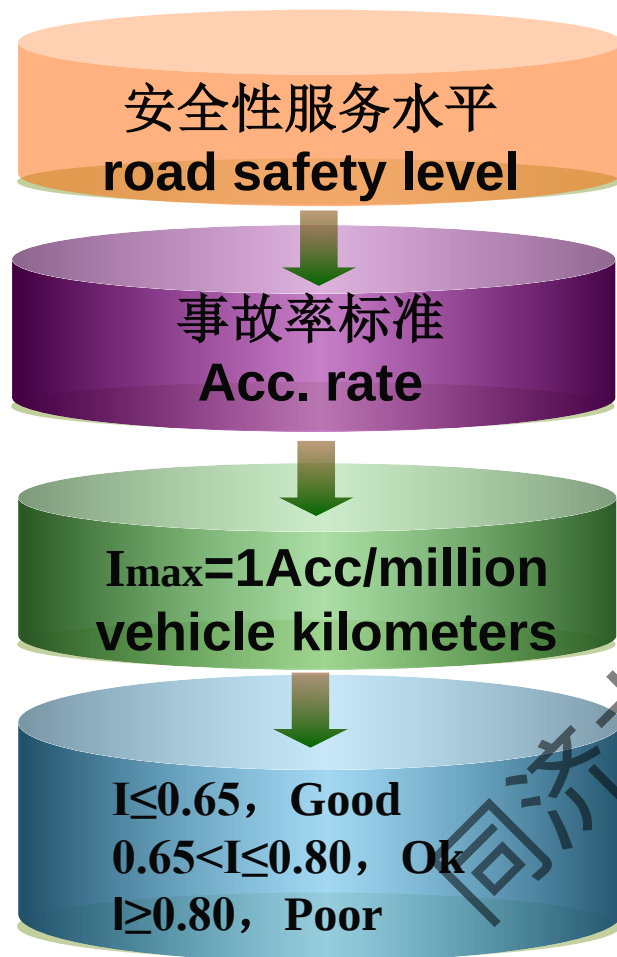


运行车速评估指标关系图



The relationship between operating speed parameters and safety performance

运行速度预测与线形评价



基于路段车速离散性指标的线形设计一致性评价标准

operating speed \ safety level	Good	OK!	Poor
车速变异系数	≤ 0.031	$0.031 \sim 0.046$	> 0.031
客货极差比	≤ 0.46	$0.46 \sim 0.54$	> 0.54
路段车速离散度	≤ 0.95	$0.95 \sim 2.34$	> 2.34

基于路段断面车速变化指标的线形设计一致性评价标准

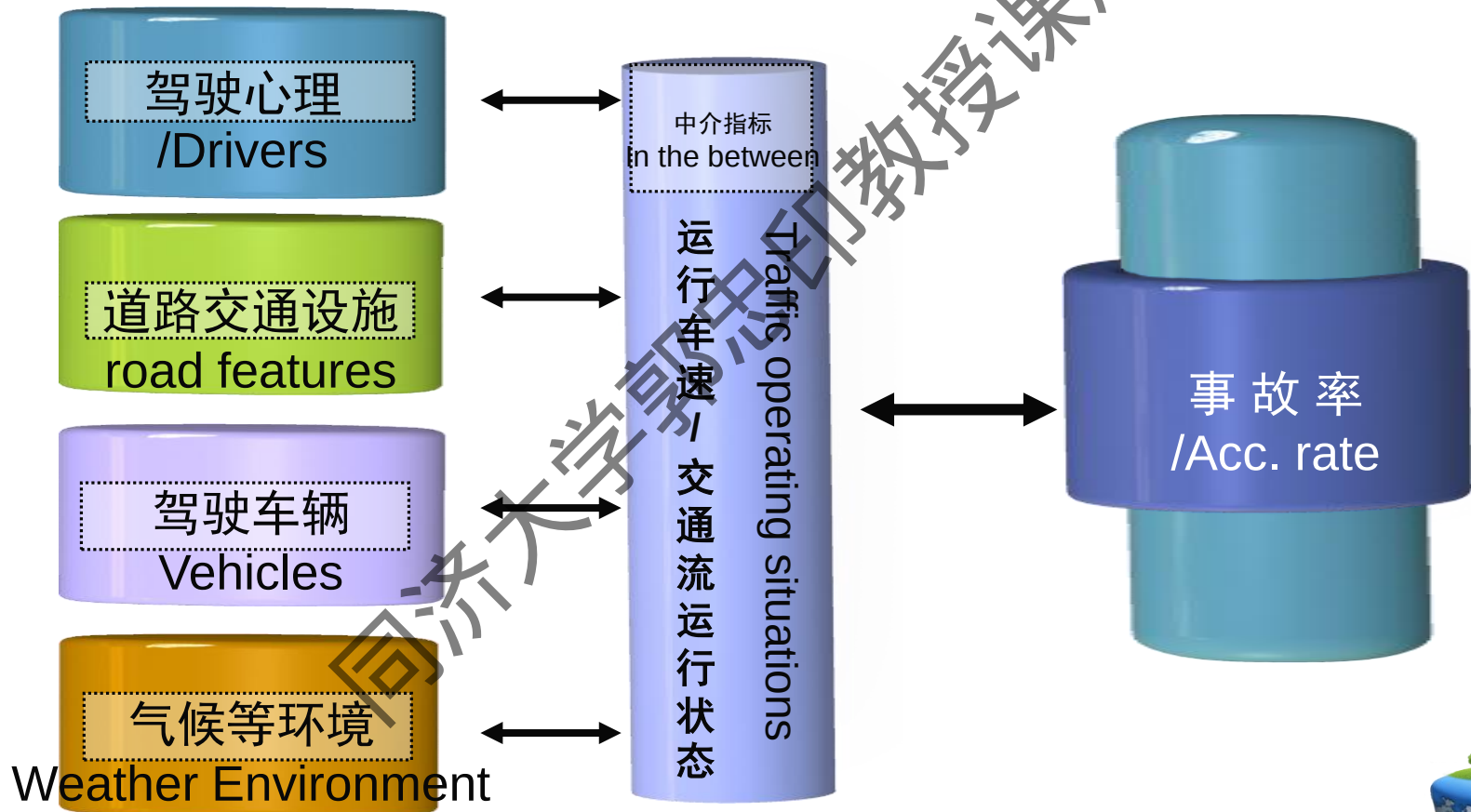
operating speed \ safety level	Good	Ok	Poor
断面车速差	$-10 \sim 11$	$-15 \sim -10$, $11 \sim 16$	> 16 , < -15
车速降低系数	$0.9 \sim 1.095$	$0.87 \sim 0.90$ $1.095 \sim 1.12$	> 1.12 , < 0.87



道路环境安全性能

The general road safety performance equation through traffic operating situations

- 事故率 **Acc. Rate** = f (平纵横线形 **A**、路面 **P**、交通量 **V**、环境 **E**、车速 **S**、车辆、人...)



道路环境安全性能分析方法

The analysis method of road safety performance



道路交通安全要素

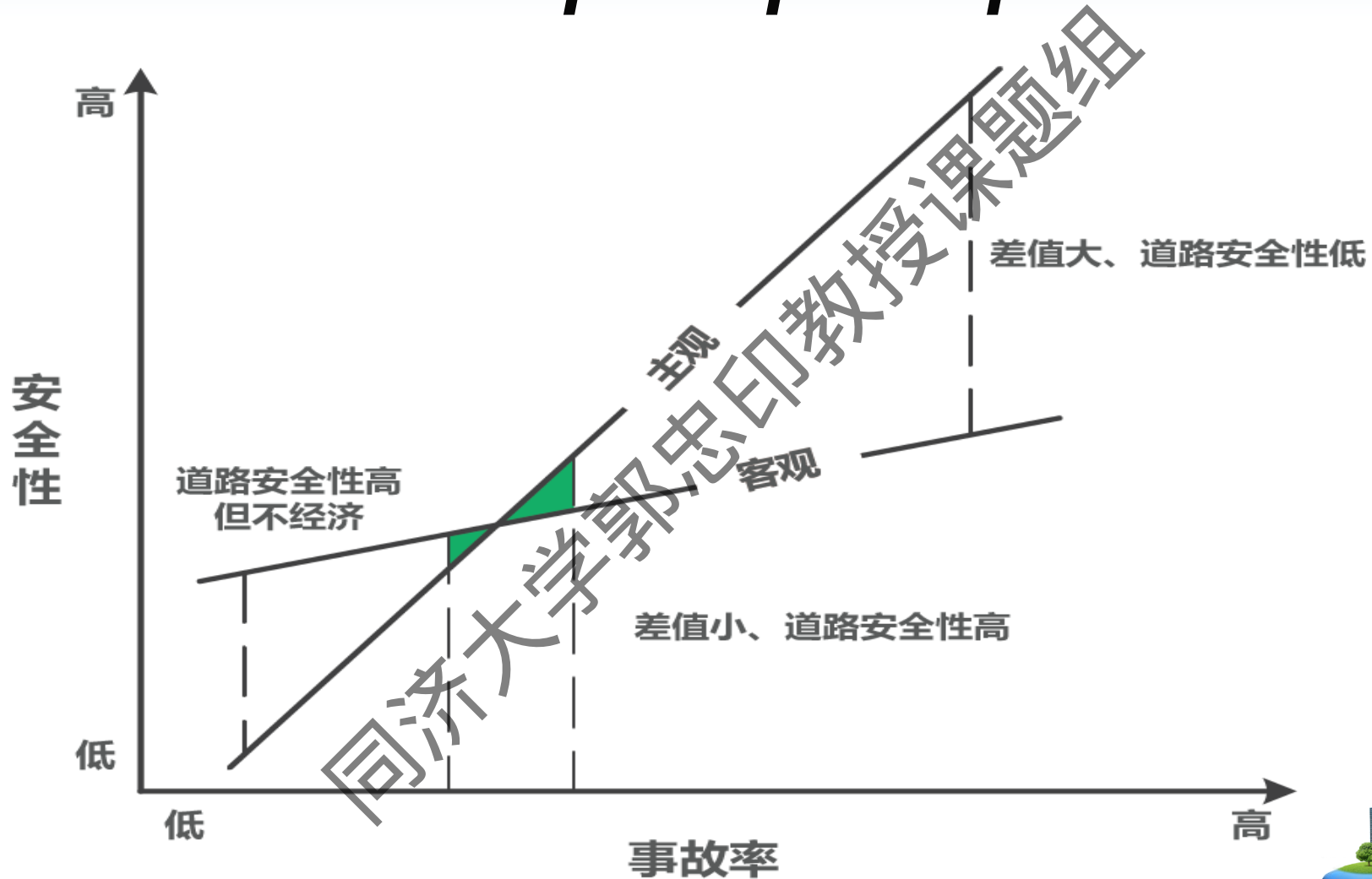
The Factors related with road traffic safety

	人车路系统性能 HVRES performance	主动安全	救援与修复能力
人/H	培训、安全教育、行车态度、行人和骑车人的着装 驾驶技术、性格、感知反应能力 身体健康状况、年龄、性别 等等	车内位置和座姿 交通安全意识 应急能力	紧急救援能力（应急预案的合理与可实施性、物资储备与布置）。
车/V	车辆性能制动性、可操控性车速、视野等； 交通构成（交通量、车辆类型、行人等）等	车辆防撞结构、安全带等	救援车辆的配置及性能。恶劣气象等环境下车辆性能。
路/R	标志标线、几何线形、路表性能、视距、陆域环境和谐性等设施技术状态 监控设施、管理技术等。	路侧安全及相关设施（易折柱、安全护栏等）。道路两侧居住情况与经济发展 接入管理方式	道路交通设施的可修复性。 路网布局合理性（替代道路）。



道路环境主客观安全性能

Basic concept or principle based



道路交通基础设施安全性能技术指标

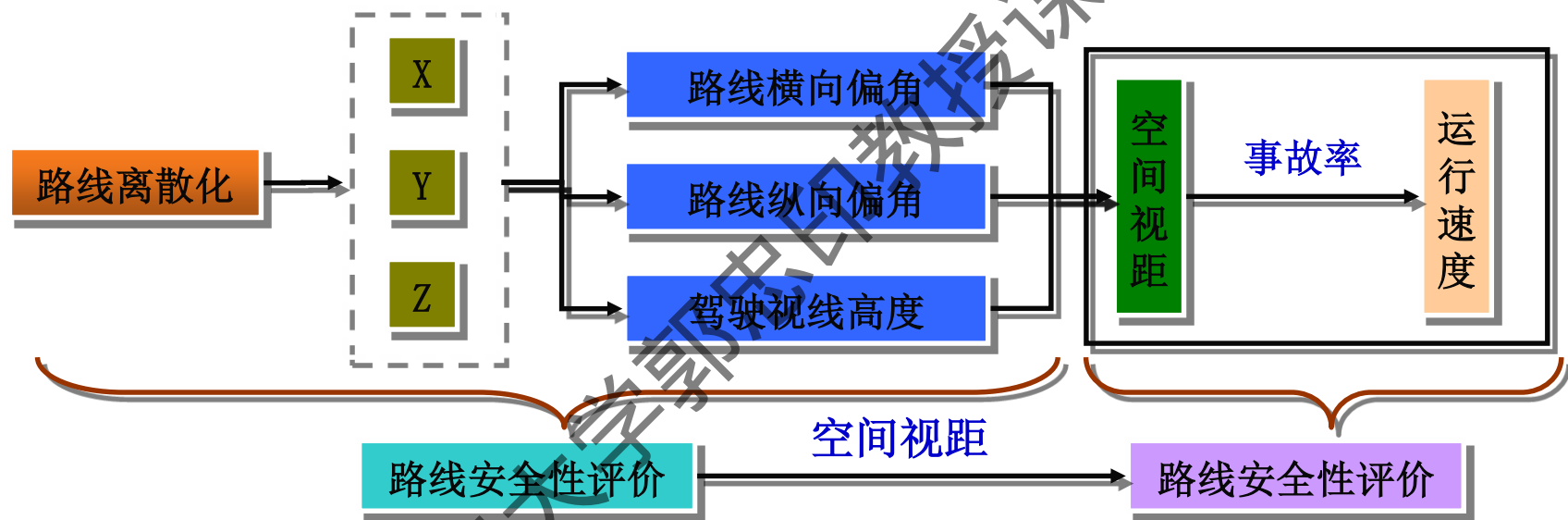
安全性能指标	安全对策		
	事前 (预防)	事前	事前
	事后 (救援)	事中	事后
	事中	事中	事中
	事后	事后	事后
	事前	事中	事后

- ✓ 事后安全性能指标：当量事故率
- ✓ 事中安全对策：控制实时交通流风险
- ✓ 事故率 = f (交通流风险)



事前：路域环境安全设计road safety design

Example 1: 基于驾驶员空间视距的线形安全分析



高速公路客观安全性指标

Objective safety performance

- 公路线形安全性
- 路面状态安全性
- 交通设施安全性
- 自然环境安全性

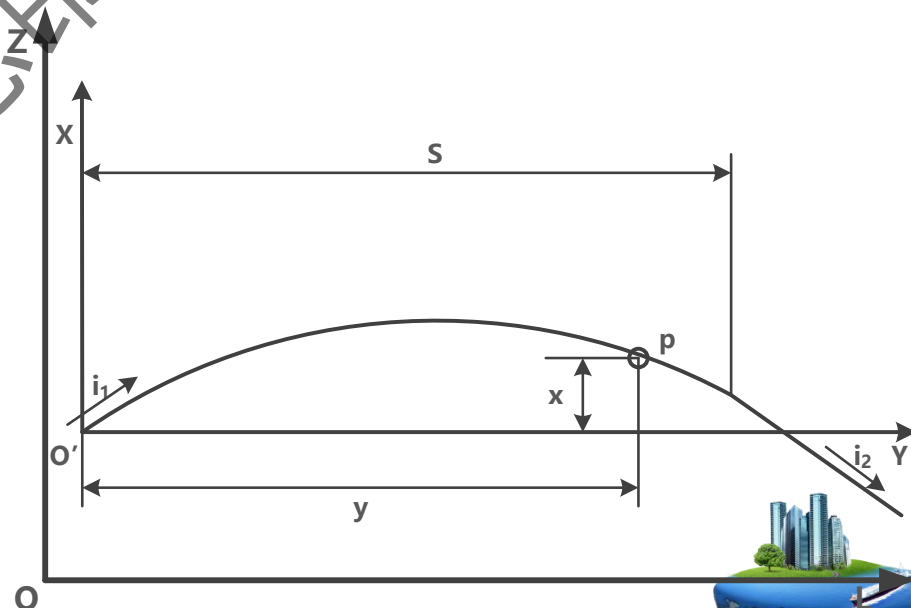
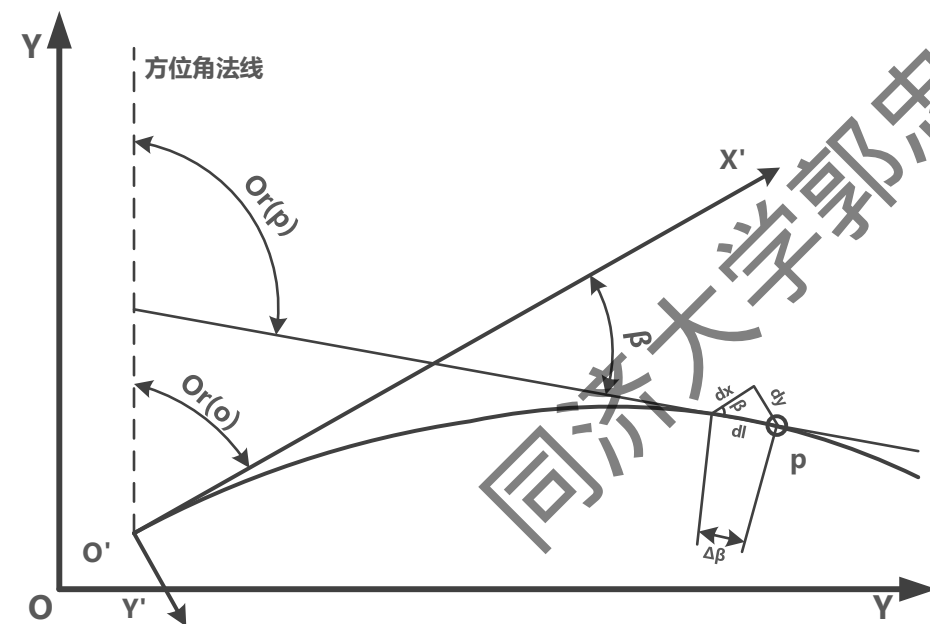
空间曲率指标special curvature

小型车vehicle :

$$\kappa_a = \frac{\sqrt{di_t^2 - 134.041i_t|i_t|k_t^2 + k_t^2}}{(1 - 134.041i_t|i_t|)^{3/2}}$$

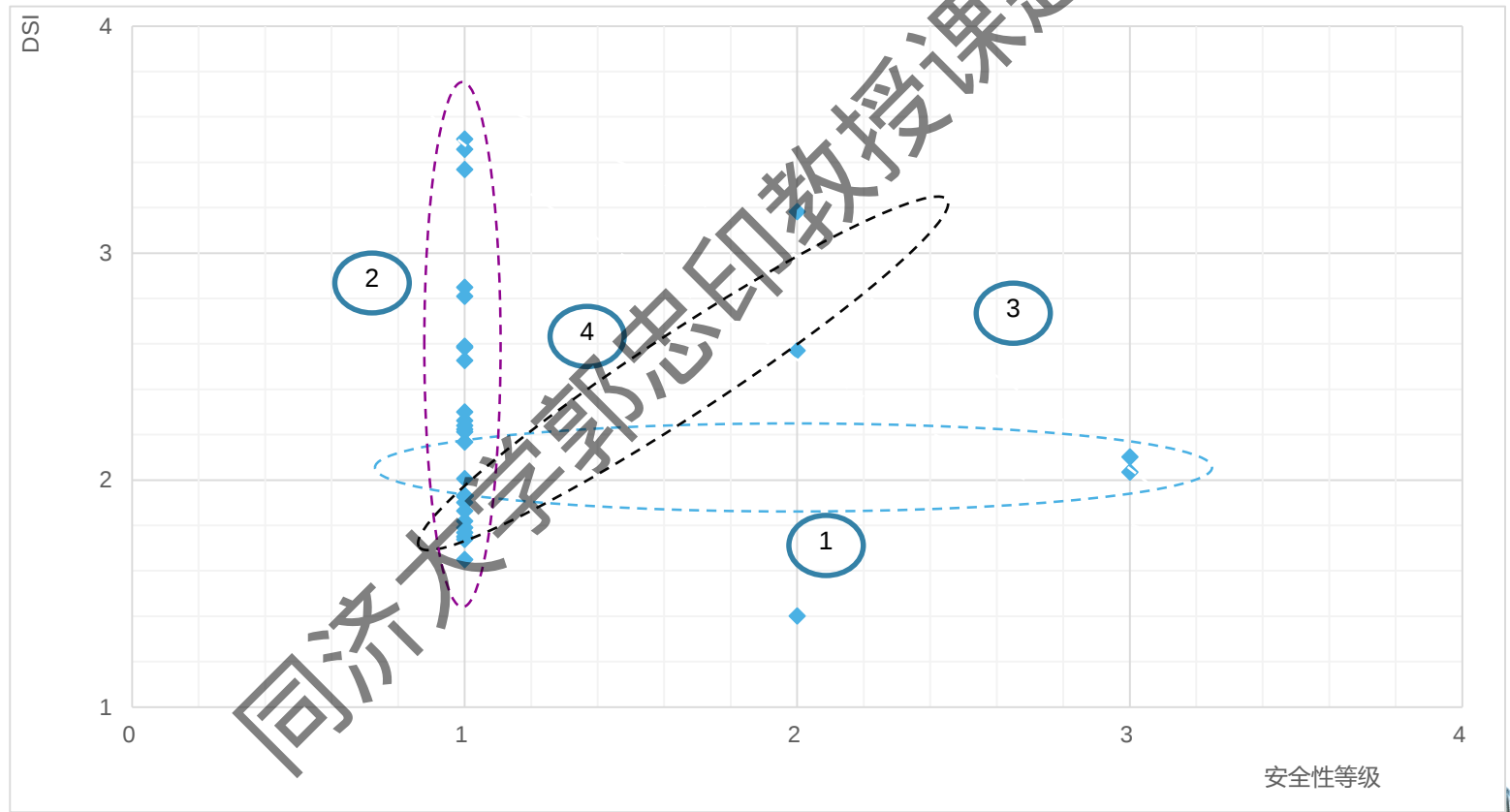
大型车Truck:

$$\kappa_d = \frac{\sqrt{di_t^2 - 250.772i_t|i_t|k_t^2 + k_t^2}}{(1 - 250.772i_t|i_t|)^{3/2}}$$



公路用户主观安全性评价模型

$$DSI = 0.023(1 / RRCV) + 1.051(FT_{85}) + 0.260(TLX)$$



基于运行车速特征值的一致性评价指标

(1) 客货车速离散性指标：客货车速极差比 mb

$$M = \frac{\max_{1 \leq i \leq n}(m_i) - \min_{1 \leq i \leq n}(m_i)}{\bar{m}}$$

式中：M—路段客货差极差比； m_i —路段各断面客货差值； $\bar{m}$ —路段各断面客货差均值；

(2) 断面车速变化指标：车速降低系数 SRC

$$\text{驶入曲线方向: } SRC = \frac{\text{曲中点 } V_{85}}{\text{直缓点 } V_{85}} \quad \text{驶出曲线方向: } SRC = \frac{\text{缓直点 } V_{85}}{\text{曲中点 } V_{85}}$$

(3) 综合车速指标：路段车速离散度 S

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \int_{l_i}^{l_{i+1}} \Delta V_i dl}{L} \quad \text{其中 } \Delta V = V_{85} - \bar{V}$$

式中： ΔV_i 为第 i 个几何元素第85%位车速与平均车速之差，即单位长度内的速度梯度，

l_i 为第 i 个几何元素对应的起点里程桩号； l_{i+1} 为第 i 个几何元素对应的终点桩号里程

L 为里程长度； n 为里程长度 L 内几何元素的总个数



道路路线评价方法

The evaluating method of highway alignment

基于公路线形综合指标的安全评价



中华人民共和国交通运输部

公 告

第 59 号

交通运输部关于发布 《公路项目安全性评价规范》的公告

现发布《公路项目安全性评价规范》(JTG B05—2015) 作为公路工程行业标准,自 2016 年 4 月 1 日起施行,原《公路项目安全性评价指南》(JTG/T B05—2004) 同时废止。

《公路项目安全性评价规范》(JTG B05—2015) 的管理权和解释权归交通运输部,日常解释和管理工作由主编单位华杰工程咨询有限公司负责。

请各有关单位注意在实践中总结经验,及时将发现的问题和修改建议函告华杰工程咨询有限公司(地址:北京市朝阳区安苑路 20 号世纪兴源大厦 8 层,邮政编码:100029),以便修订时研用。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

2015 年 12 月 23 日

交通运输部办公厅

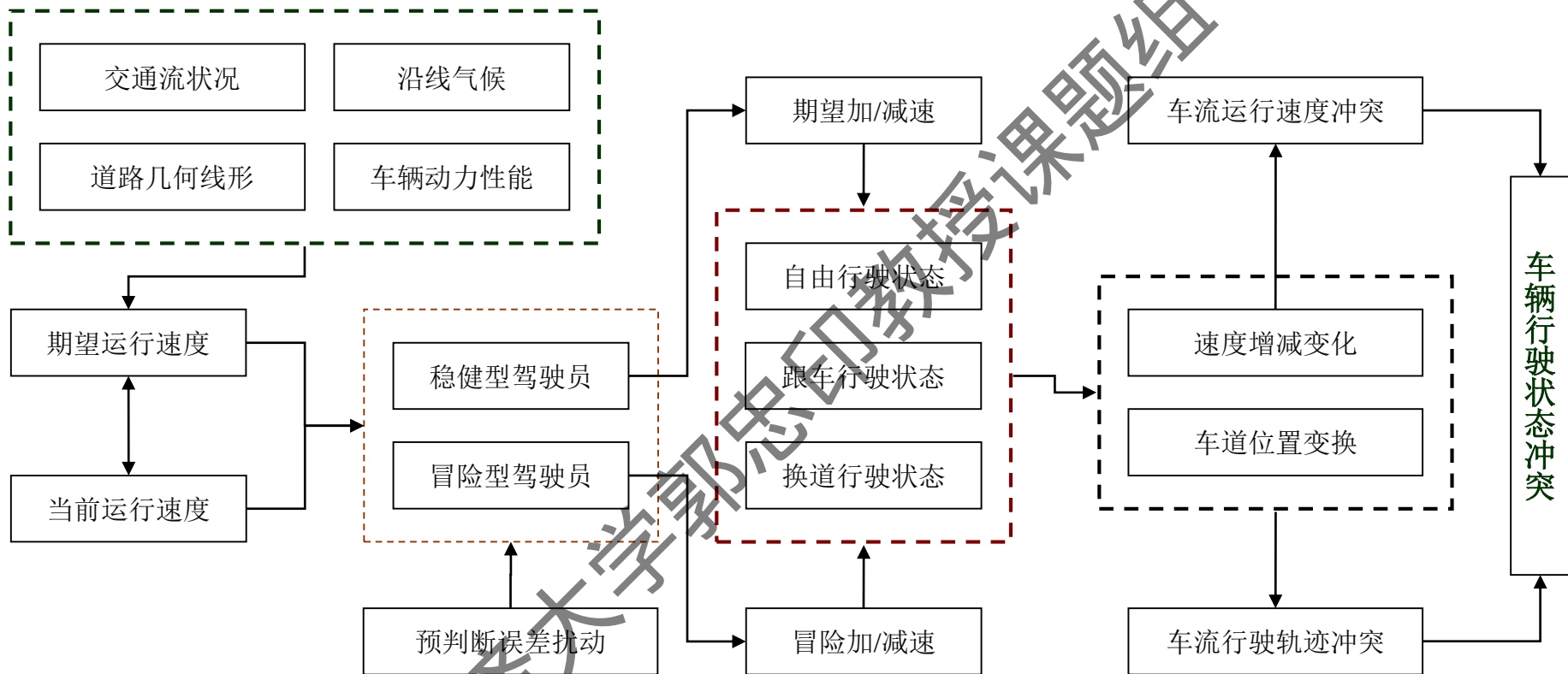
2015 年 12 月 24 日印发

Highway safety audit code



事中：基于交通流运行风险的评价技术

Traffic flow risk based Safety Evaluation Method



交通流运营风险分析

Traffic flow risk assessment

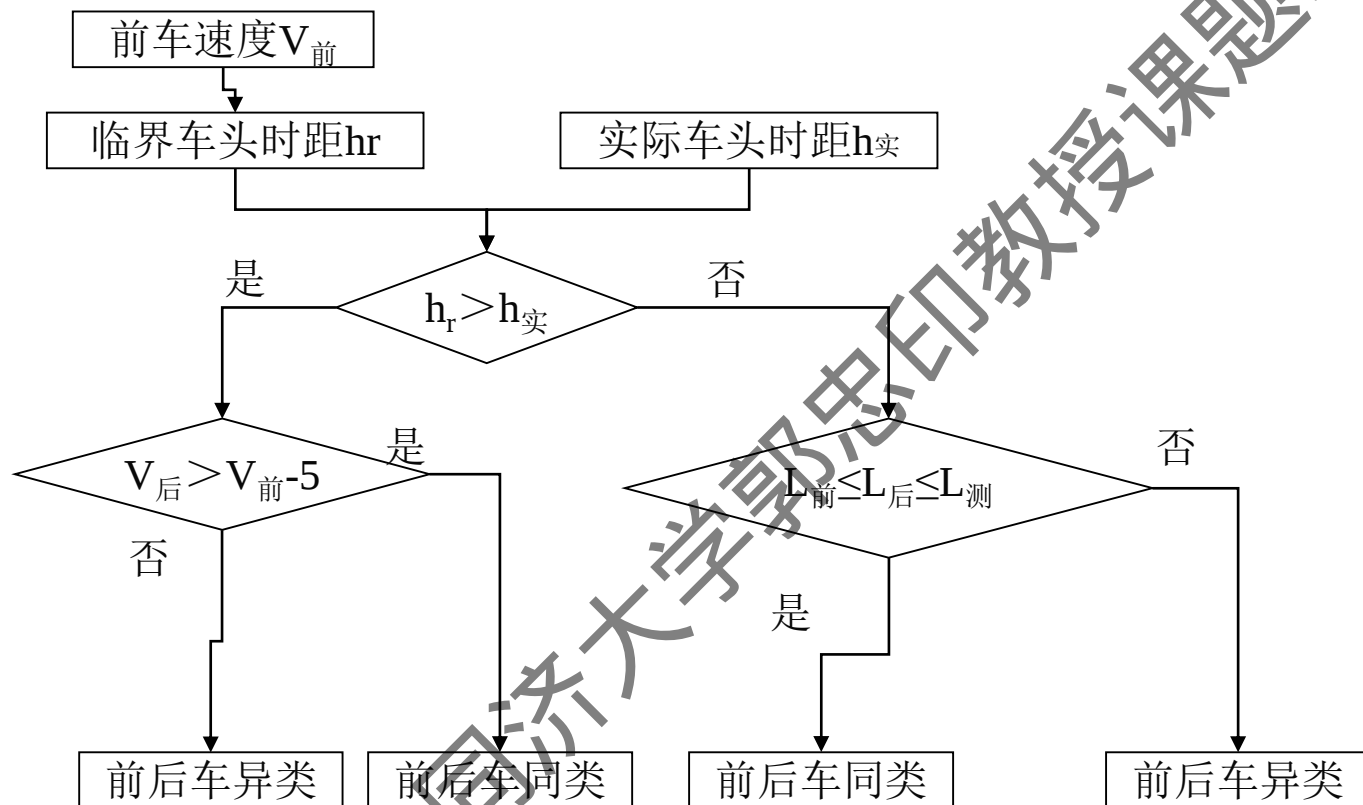
交通流运营风险评价的核心是交通流危险状态的检测与识别技术，即从交通流运动状态中辨识可能发生的危险状态；其关键技术包括：

- 交通流运动状态参数指标的选择
- 车辆状态参数的统计分析方法
- 交通流危险状态的评判标准确定
- 其它。



交通流运营风险分析方法Traffic flow risk assessment

Example 1: 基于动态归类的交通流相关统计分析技术

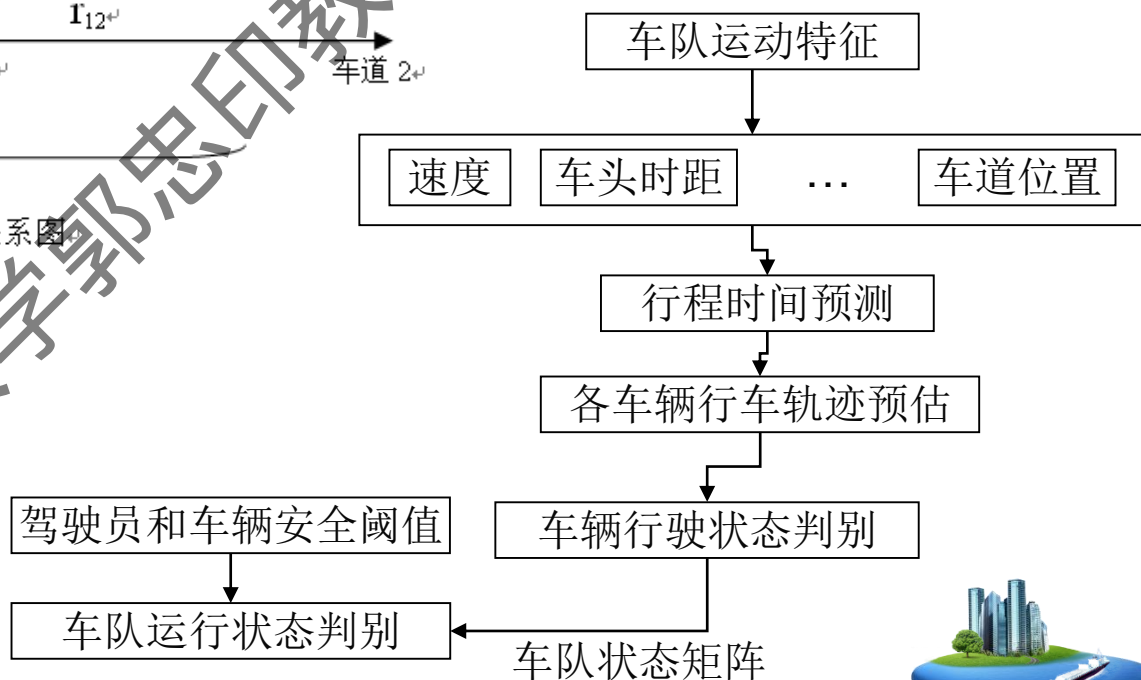
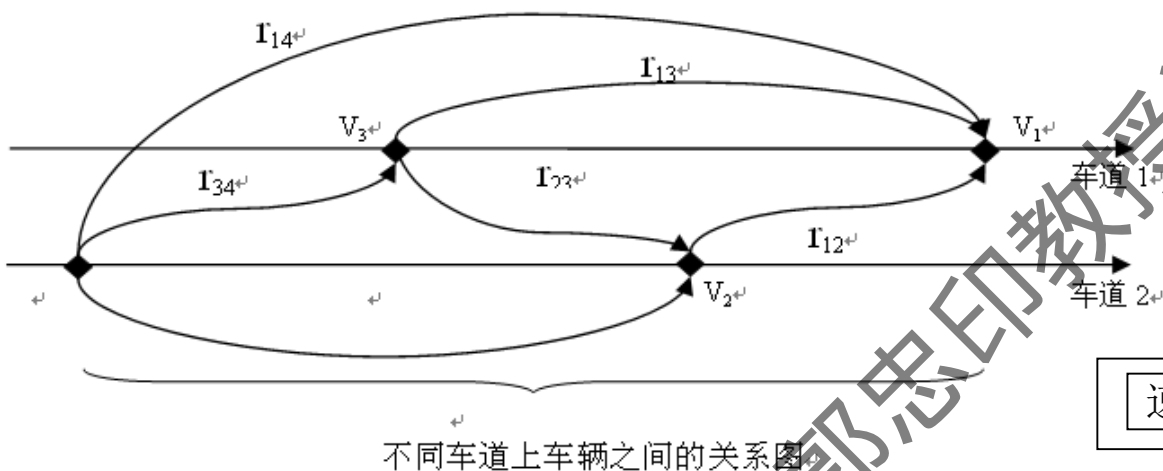


动态归类的技术核心为
车辆轨迹追踪和车辆间
状态传递等
两大原则



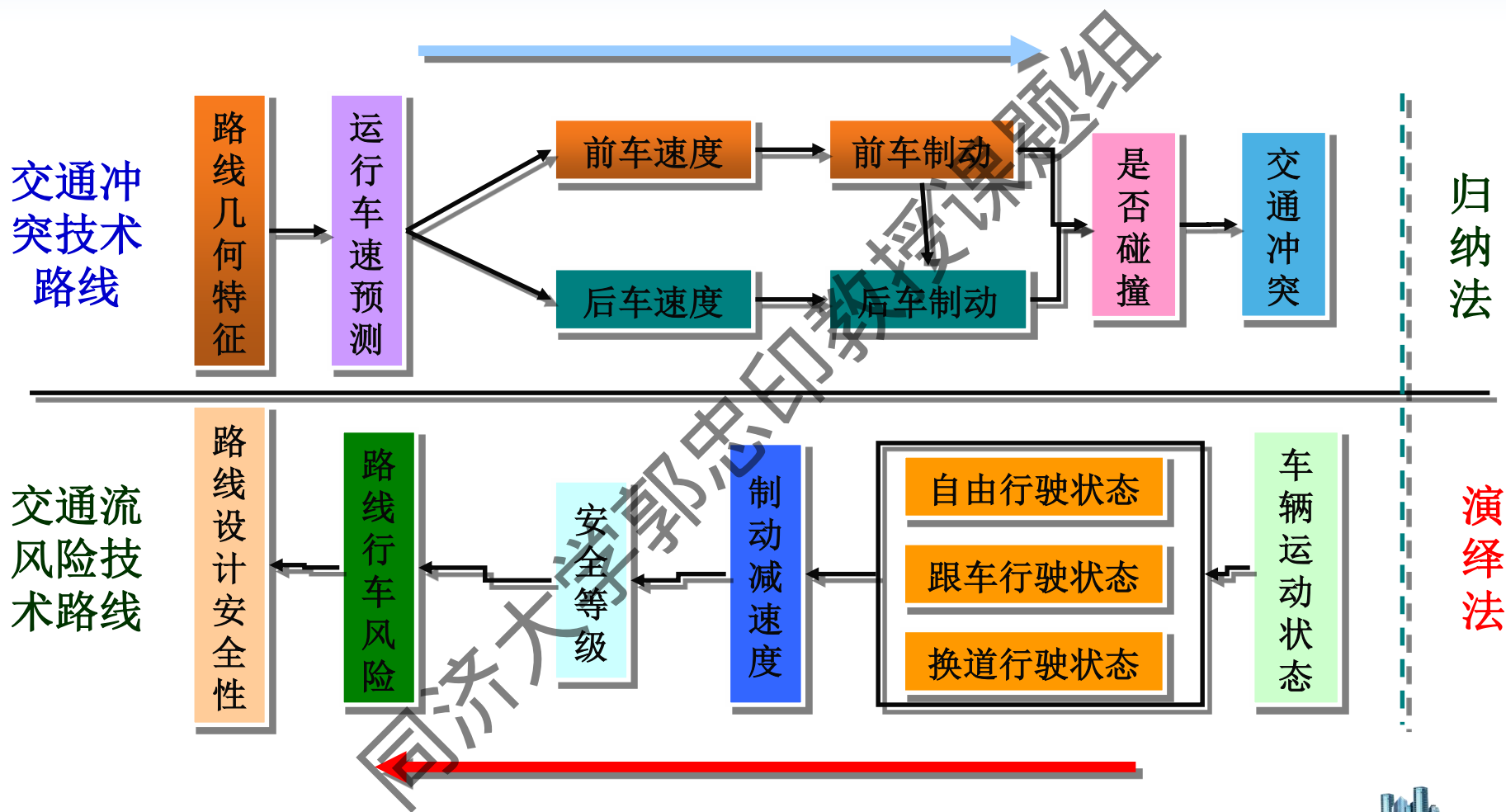
交通流运行风险分析Traffic flow risk assessment

Example 2: 相互影响车队（群）的运行安全状态判别理论



基于行车风险的交通冲突分析

Comparison between traffic conflicts and traffic risk



车辆行驶安全性分析与车流控制标准：

Example：跟驰行驶安全约束与控制标准

安全约束条件：

$$h_{n+1-n} \geq \frac{V_{n+1}^2 / V_n - V_n}{70.56(\mu_l \pm i)} + \frac{V_{n+1}\tau}{V_n} + \frac{3.6L}{V_n}$$

雾天条件下的跟车安全约束条件：

$$h_{n+1-n} \geq \frac{V_{n+1}^2 / V_n - V_n}{70.56(\mu_l \pm i)} + \frac{V_{n+1}(\tau_s + \tau_w)}{V_n} + \frac{3.6L}{V_n}$$

上坡路段最小车头时距对应的最大流率

平均 前后 车速 差 ($v_{n+1}-v_n$)	晴天			雨天			冰天			雪天		
	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$
0~15 km/h	100	100	150	100	100	150	50	58	150	75	75	150
15~30 km/h	58	75	—	58	75	—	30	42	—	42	58	—
>30 km/h	50	—	—	50	—	—	20	—	—	33	—	—

下坡路段最小车头时距对应的最大流率

平均 前后 车速 差 ($v_{n+1}-v_n$)	晴天			雨天			冰天			雪天		
	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$	$V_n=80$	$V_n=100$	$V_n=120$
0~15 km/h	100	100	150	100	100	150	33	33	150	58	58	150
15~30 km/h	58	75	—	58	75	—	17	25	—	33	50	—
>30 km/h	50	—	—	33	—	—	13	—	—	25	—	—



连续交通流运营风险分析

交通流运营风险指数Traffic flow operating risk index :

$$R_{Index}(k,n) = \begin{pmatrix} A_k^1 \times (B_k^1)^T \\ A_k^2 \times (B_k^2)^T \\ \vdots \\ A_k^n \times (B_k^n)^T \end{pmatrix}_{n \times 1} = \begin{pmatrix} r_{11}\omega_{11} + r_{12}\omega_{12} + \cdots + r_{1n}\omega_{1n} \\ r_{21}\omega_{21} + r_{22}\omega_{22} + \cdots + r_{2n}\omega_{2n} \\ \vdots \\ r_{n1}\omega_{n1} + r_{n2}\omega_{n2} + \cdots + r_{nn}\omega_{nn} \end{pmatrix}_{n \times 1}$$

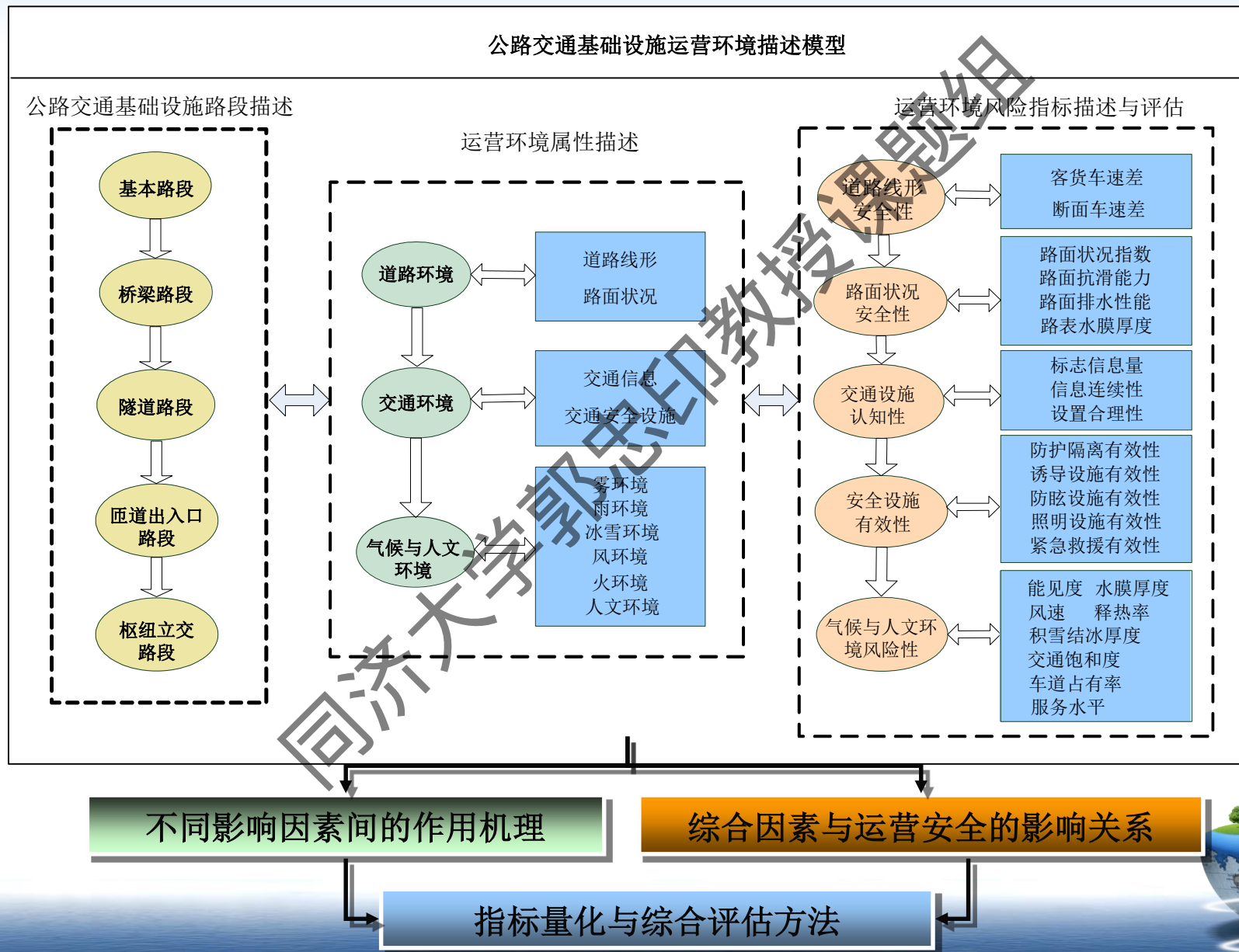
交通流运营风险等级标准

自由行驶指数	1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0
跟车行驶指数	1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0
换车道行驶指数	1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0
运营风险指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.3~0.4	0.2~0.3	0.1~0.2	0~0.1	0
危险等级	一级	二级	三级	四级	五级	六级	七级	八级
人体反应特征	器官受损	视距模糊	手脚不能动	呼吸困难	腹部受压		感觉不适，轻度碰伤	

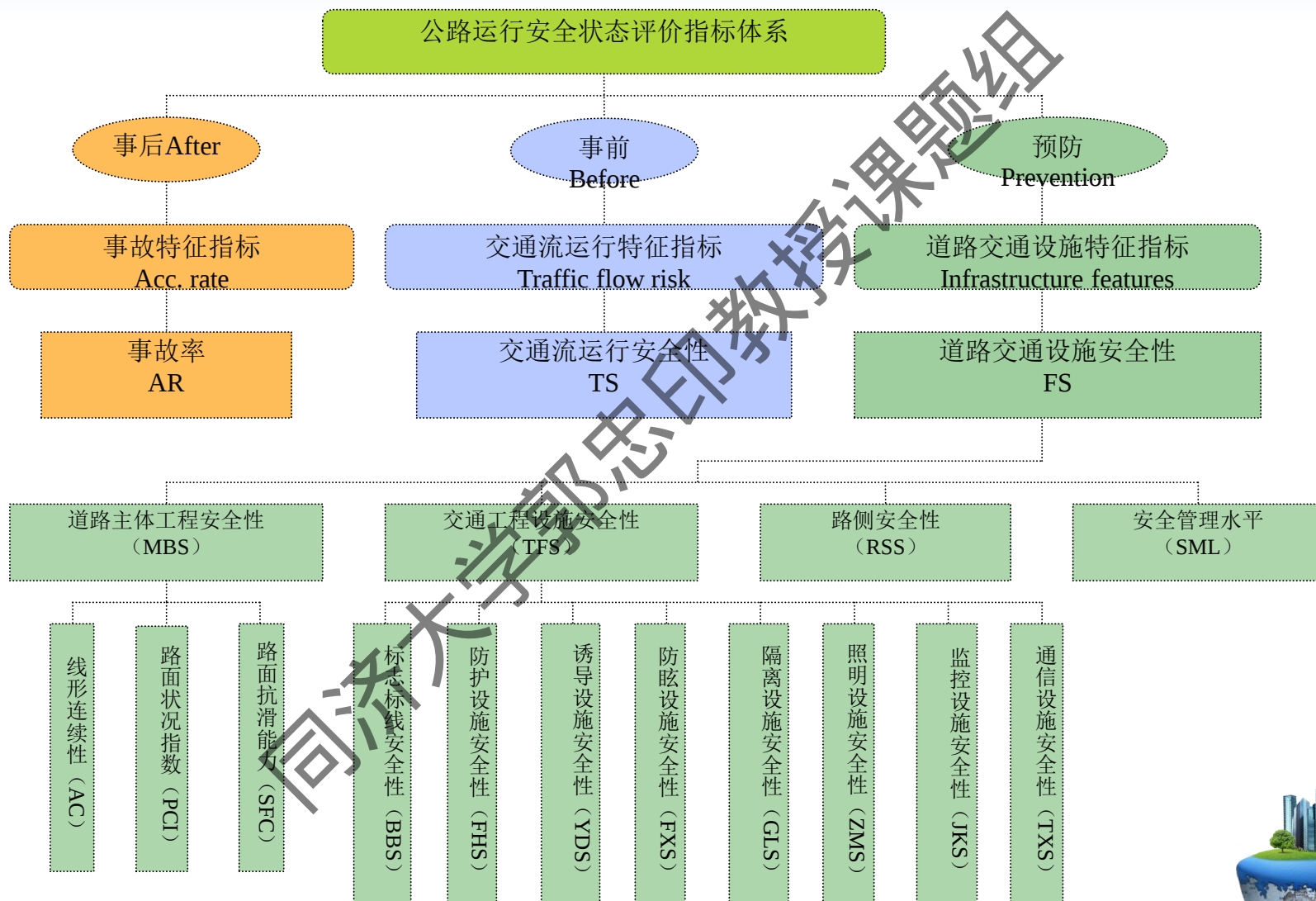


事前：路域环境安全管理（静态）

road safety management system



道路环境安全性能 road safety performance index



道路交通运行安全状态的描述与判别标准

——道路交通运行安全状态的单一综合指标描述

$$OSC_i = 0.68 f(AR_i) + 0.20 f(TS_i) + 0.12 f(FS_i)$$

单条道路

$$OSC = \frac{\sum_{i=1}^n OSC_i \times L_i}{L}$$

各等级道路子网

$$OSC = \frac{\sum_{i=1}^n OSC_i \times L_i}{L}$$

区域路网

$$OSC = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n OSC_{ij} \times L_{ij}}{L_j} \times K_j$$



实用技术

road safety improvement technologies

- ❖ 安全评价
- ❖ 预警
- ❖ 安全管理

同济大学郭忠印教授课题组



同济大学教授课题组

道路安全设计与评价

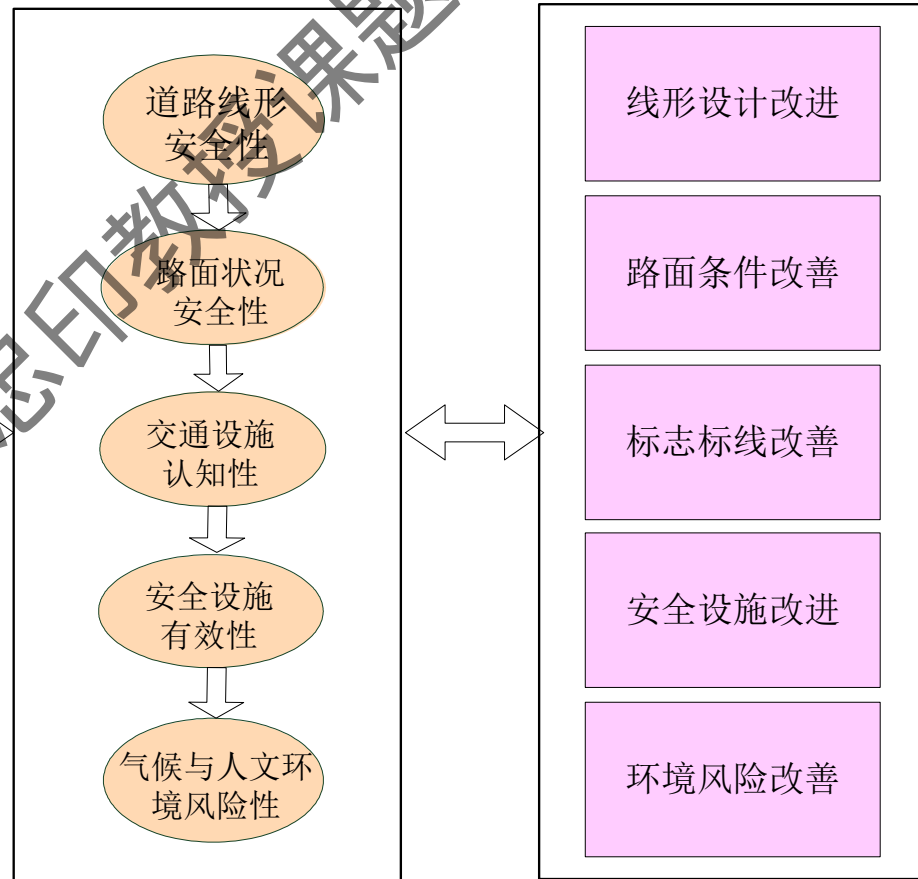
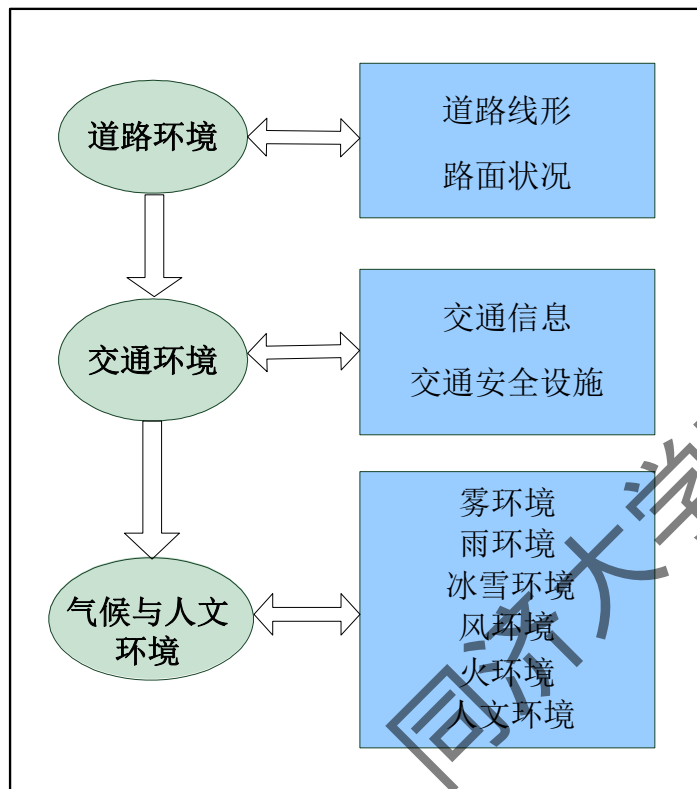
road safety design and audit



事前：路域环境安全性能评价与设计

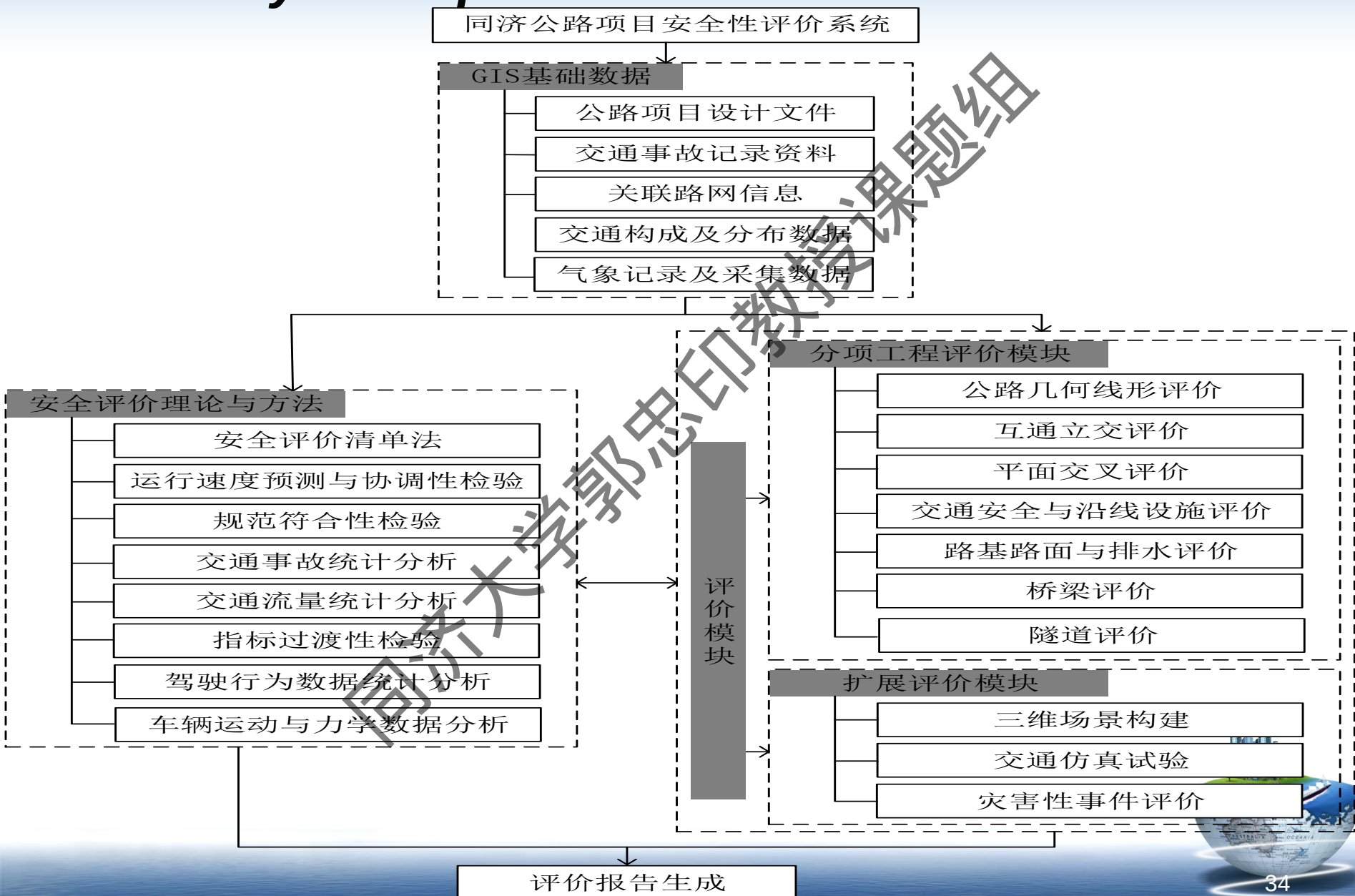
道路运行环境安全审计 道路运行环境安全改进

道路运行环境组成



道路安全评价系统

road safety audit procedure



道路安全设计与评价程序

The software for road safety audit procedure

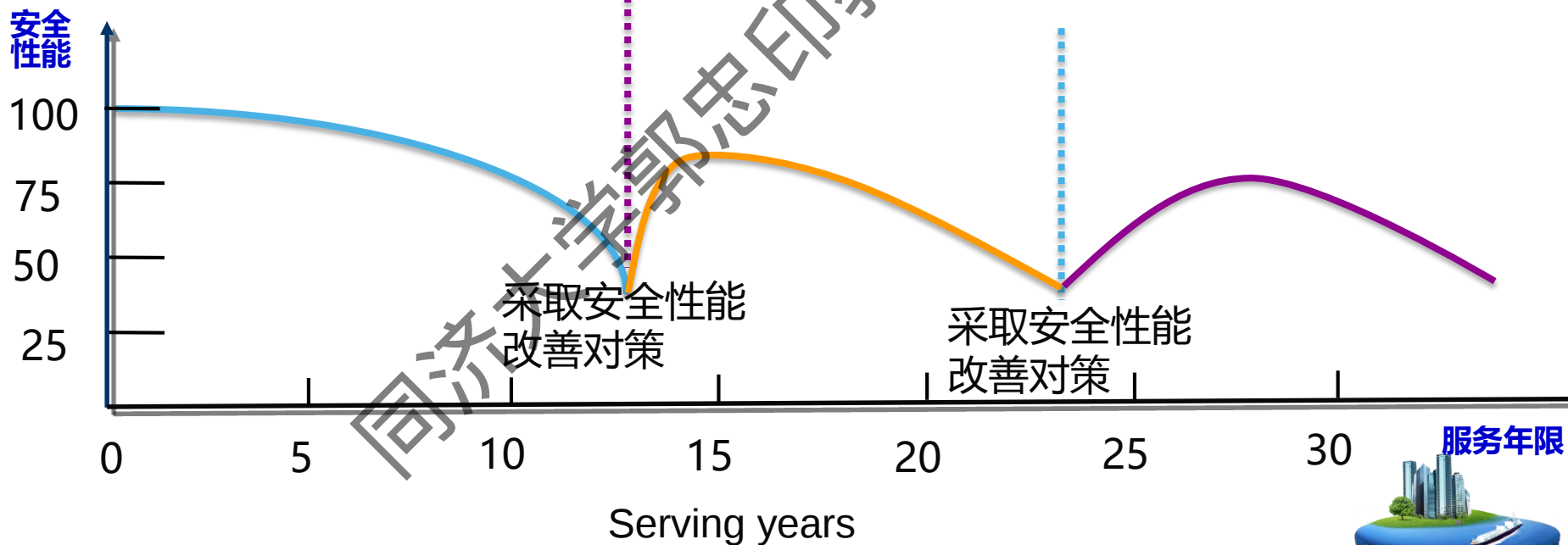
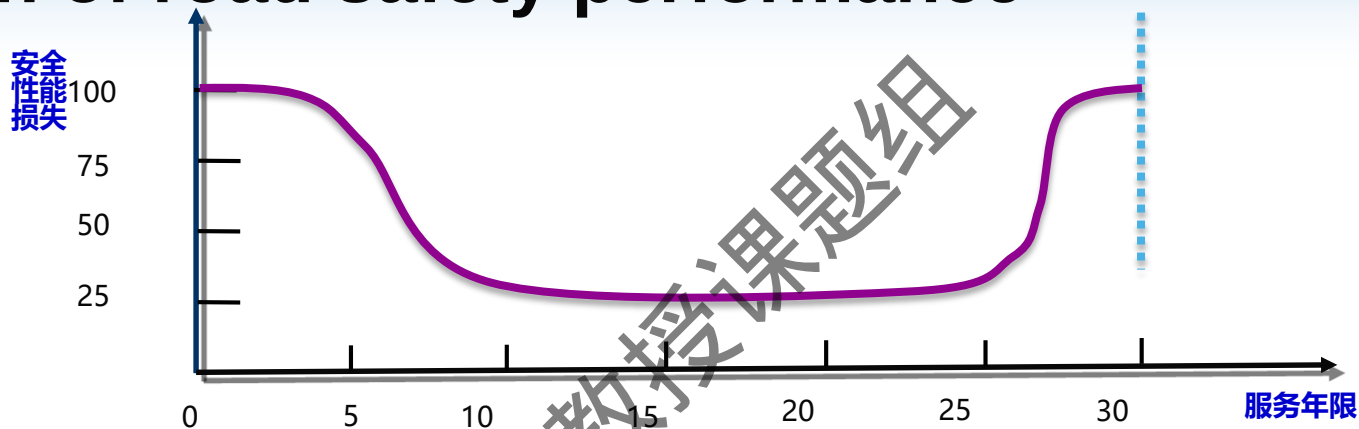


路域环境安全养护管理系统 *road safety management system*

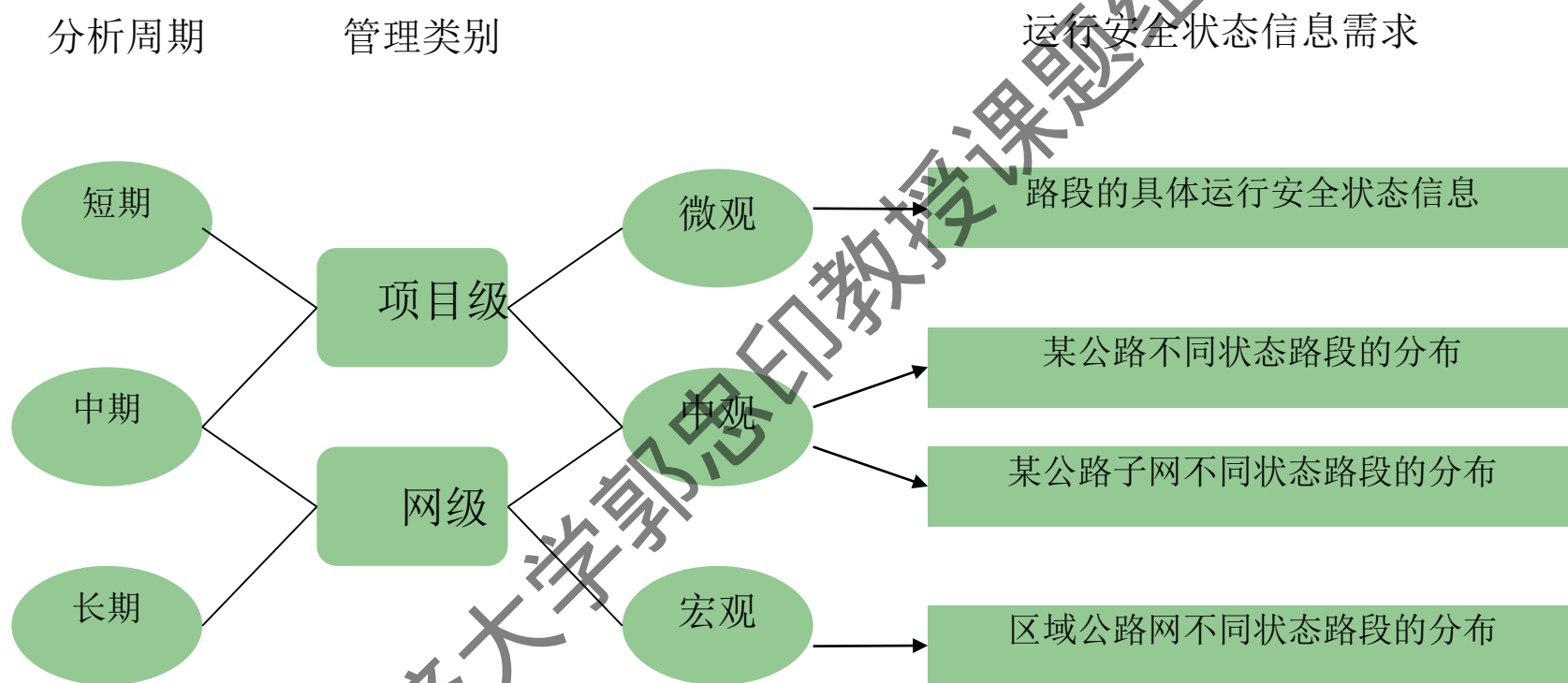


道路交通基础设施安全性能衰减

Degeneration of road safety performance



不同分析周期的公路运行安全状态信息需求



Example: 公路安全养护管理 highway safety management system

项目级公路运行安全管理标准 Highway Project level

改善优先指数
PI

D3	C3	D2	C2	D1	C1	B	A
8	7	6	5	4	3	2	1

事后管理 事前管理 预防性管理 日常维护

网级公路运行安全管理标准 Network level

第1年
/First year

D3	C3	D2	C2	D1	C1	B	A
10	10	10	10	15	15	15	15

危险路段
最高控制比例 (%) 安全路段
最低控制比例 (%)

第3年
Third year

D3	C3	D2	C2	D1	C1	B	A
8	8	8	8	18	18	18	18

危险路段
最高控制比例 (%) 安全路段
最低控制比例 (%)

第5年
Fifth year

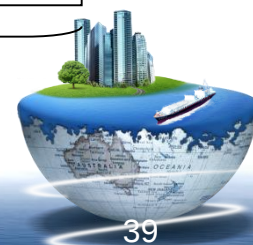
D3	C3	D2	C2	D1	C1	B	A
5	5	5	5	20	20	20	20

危险路段
最高控制比例 (%) 安全路段
最低控制比例 (%)

safer
→

safer
→

Five year maintenace planning



同济大学交通运输课题组

交通运行安全管理与控制技术

Traffic operating safety management and control technology

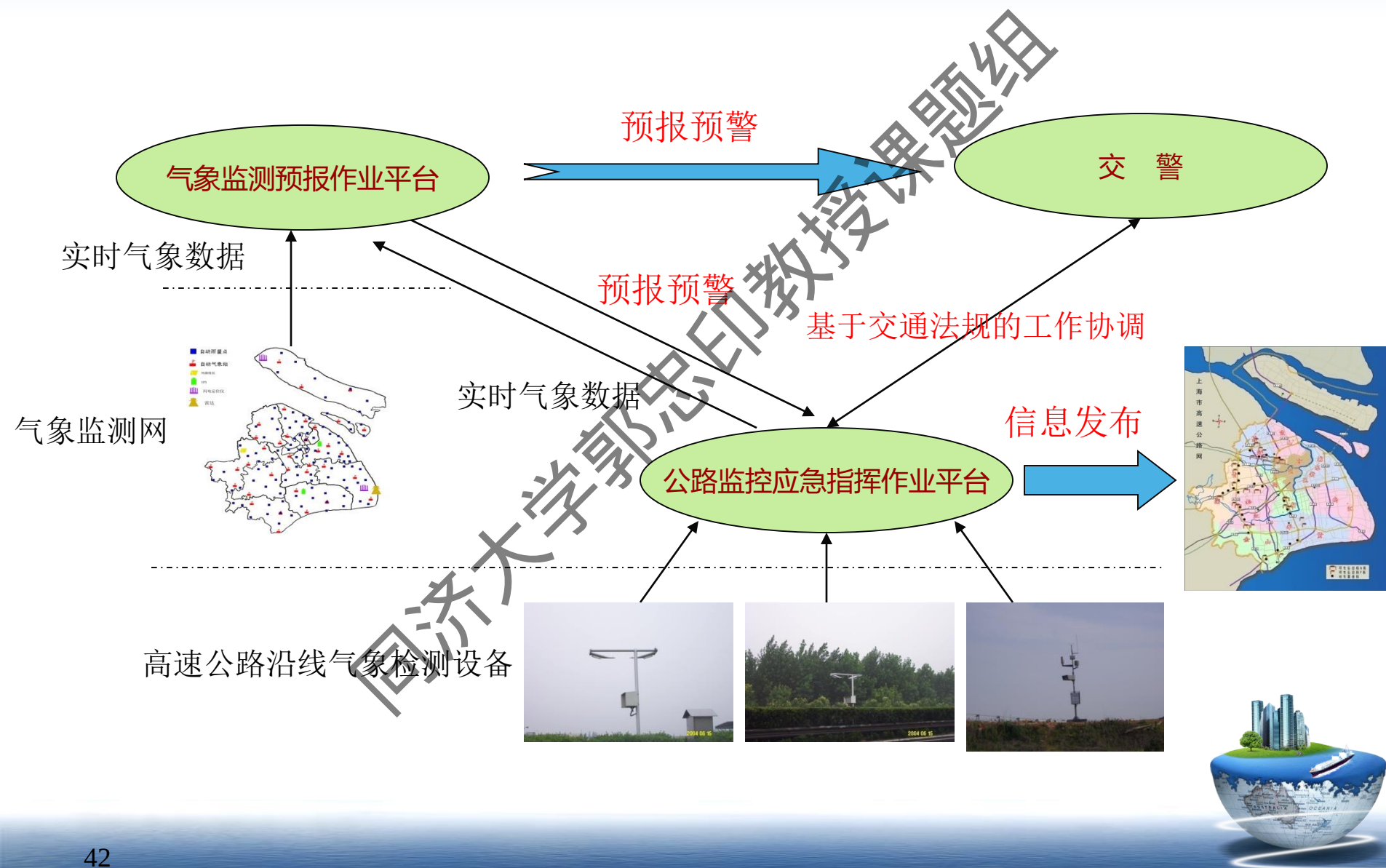


对以下相关内容进行了研究，在工程中得到了应用：

- ✓ 道路运营安全管理系统结构设计技术
- ✓ 道路信息采集、分析、处理与发布技术
- ✓ 道路交通运营安全管理决策模型与算法
- ✓ 道路运营安全状态评价与预测技术；

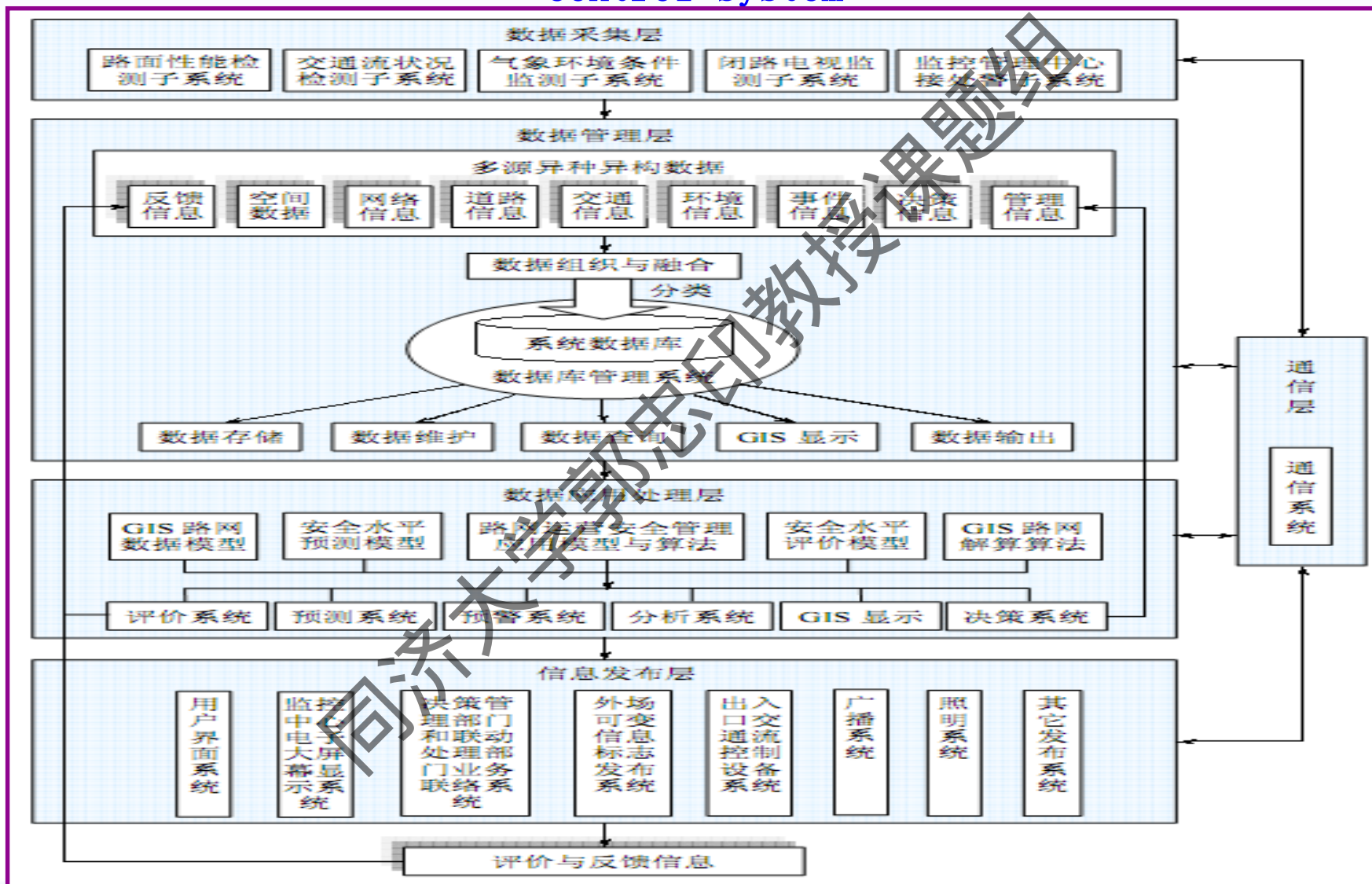


Example: 高速公路网运营安全管理系统



基于GIS公路网运营安全管理与控制系统

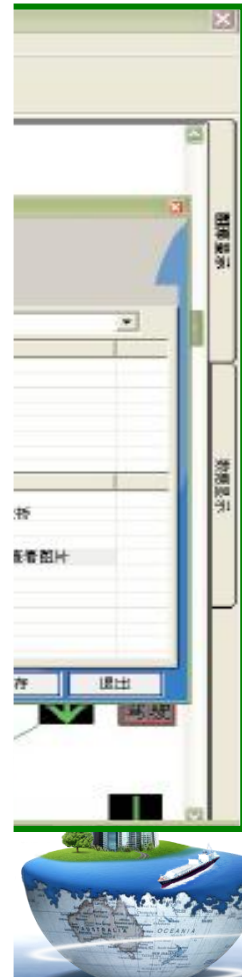
GIS_T based highway network operating safety management and control system



HangZhou Bay Bridge

Legend:

- 已有高速公路 (Existing Expressway)
- 已有国道 (Existing National Road)
- 在建高速公路 (Expressway Under Construction)
- 规划高速公路 (Planned Expressway)
- 互通立交 (Interchange)



交通运行安全预警系统

Traffic operating safety warning system



道路交通安全实验技术

road safety experimental technologies and method

实验方法	优点	缺点
现场勘测	➤ 观测周期短 ➤ 数据来源详实	➤ 调查费用高 ➤ 样本随机性大 ➤ 场景选择性小
交通仿真软件模拟	✓ 交通场景设计简便 ✓ 数据精确而丰富 ✓ 实验费用低廉	● 紧急突发情形难以实现 (伪安全状态仿真)
驾驶仿真模拟	➤ 各种场景再现简便 ➤ 驾驶行为参数检测方便	➤ 维护费用高 ➤ 场景真实度有待提高



Example: 大雾冰雪条件下行车安全与通行保障
road safety under dense fog/ice/snowing weather conditions

低能见度条件车辆通行技术 自动驾驶变量设置条件



		无	150	100	50
跟车驾驶变量设置条件					
跟车驾驶	能见度	20	50	100	150
	前车车速变化	10~20 0~40	20~40 0~60	20~40 0~60	20~40 0~60

获取数据

1	场景开始经过的时间	s
2	车辆启动开始经过的时间	
3	道路桩号	m
4	X坐标	
5	Y坐标	
6	距中线偏移距离	
7	偏移变化	-
8	方向盘转角	rad
9	方向盘转角速度	rad/s
10	前向速度	m/s
11	前向加速度	m/s ²
12	刹车	
13	旁向速度	m/s
14	旁向加速度	m/s ²
15	车道编号	-



1	场景开始经过的时间	s
2	[01]前车启动开始经过的时间	
3	[01]前车经过道路桩号	m
4	[00]后车经过道路桩号	
5	车距[01]-[00]-4.5	
6	[01]前车距中线偏移距离	
7	[00]后车距中线偏移距离	
8	前后车横向距离[01]-[00]	
9	[01]前车偏移变化	
10	[00]后车偏移变化	
11	[01]前车方向盘转角	rad
12	[00]后车方向盘转角	
13	[01]前车方向盘转角速度	rad/s
14	[00]后车方向盘转角速度	
15	[01]前车前向速度	m/s
16	[00]后车前向速度	
17	前后车前向车速差[01]-[00]	
18	[01]前车前向加速度	m/s ²
19	[00]后车前向加速度	
20	前后车前向加速度差[01]-[00]	
21	[01]前车刹车	-
22	[00]后车刹车	
23	[01]前车旁向速度	m/s
24	[00]后车旁向速度	
25	[01]前车旁向加速度	m/s ²
26	[00]后车旁向加速度	
27	[01]前车车道编号	-
28	[00]后车车道编号	

Two Key Limits of road safety research activities up to now

- Both lab. and field experimental technologies have limits discovering the road safety mechanism
- Only the effects of isolated features of road environment could be studied during our existing research activities.



The coming research activities

- ❖ More powerful and effective experimental technologies and methods need to be developed
- ❖ The safety performance models of combined road environment features should be studied



***Safer Road,
Happier Travelling Life***





谢谢!

同济大学郭忠印教授课题组

