

# 中小运量轨道系统适应性探讨

深圳国家高技术产业创新中心 宗传苓

# 主要内容

1

轨道交通主要分类

2

中小运量轨道系统简介

3

适应性分析及案例

4

小结



# 一、轨道交通主要分类

## 1、轨道交通繁杂多样，难以用一种指标或一种特征进行分类

- 按服务范围：国铁、城际轨道、城市轨道（市域铁路、市郊铁路、通勤铁路等）
- 按运输能力：高运量（4.5-7.0）、大运量（2.5-5.0）、中运量（1.0-3.0）、低运量（<1.0）
- 按敷设方式：地下、高架、地面
- 支撑和导向方式：钢轮钢轨、胶轮导轨、磁浮、自动导向等
- 牵引方式：旋转电机牵引系统、直线电机牵引系统
- 路权：全封闭独立路权、部分封闭、开放

《城市轨道交通工程项目建设标准》（建标104-2008）

《城市公共交通分类标准》（CJJ/T 114-2007）



# 一、轨道交通主要分类

## 2、《城市公共交通分类标准》对城市轨道交通的分类也不完善

- 市域快速轨道——按服务范围分。范围广，不清晰
- 地铁——按运能分
- 轻轨——按运能分。范围广，不清晰
- 单轨（跨座式、悬挂式）——按支撑、导向、牵引方式分。悬挂式单轨与跨座式单轨并非同类，更象缆车系统
- 磁浮——按支撑、导向、牵引方式分
- 自动导向系统（含APM）——按运能、导向、控制方式分。范围广，不清晰
- 有轨电车——按路权、运能、控制方式分。传统有轨电车与轻轨也有交叉

# 一、轨道交通主要分类

## 3、常见中小运量（轨道）系统

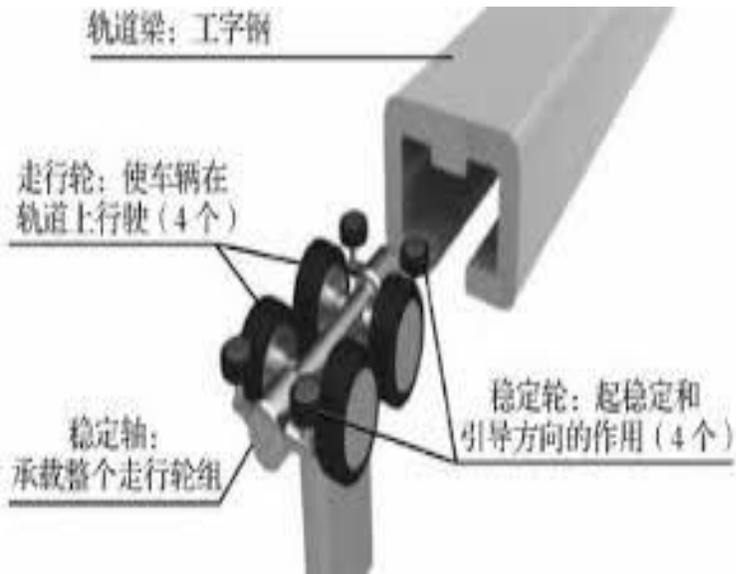
- ① 悬挂式单轨
- ② 跨座式单轨
- ③ 中低速磁浮
- ④ 直线电机
- ⑤ 自动导向轨道
- ⑥ 有轨电车（传统、现代）
- ⑦ PRT & GRT
- ⑧ 缆车
- ⑨ 智轨
- ⑩ 快速公交（BRT）



## 二、中小运量轨道系统简介

### 1、悬挂式单轨

- 把轨道、通信信号设备、隔音屏等全部集成到轨道梁中



## 二、中小运量轨道系统简介

### 1、悬挂式单轨

#### ● 主要特征

- 车厢载客：70~80人（坐席30人），**一般不超过4节编组**
- 车辆尺寸：全长8.2~14.8m，宽2.24~2.58m，高2.6~3.1m
- 最高速度：50~75km/h
- **单向运能：2400~10000人次/小时**
- 转弯半径：最小可达30m，一般不小于100m
- 爬坡能力：最大可达10%，一般不大于6%



## 二、中小运量轨道系统简介

### 1、悬挂式单轨

#### ● 德国乌帕塔尔线（1903年通车）

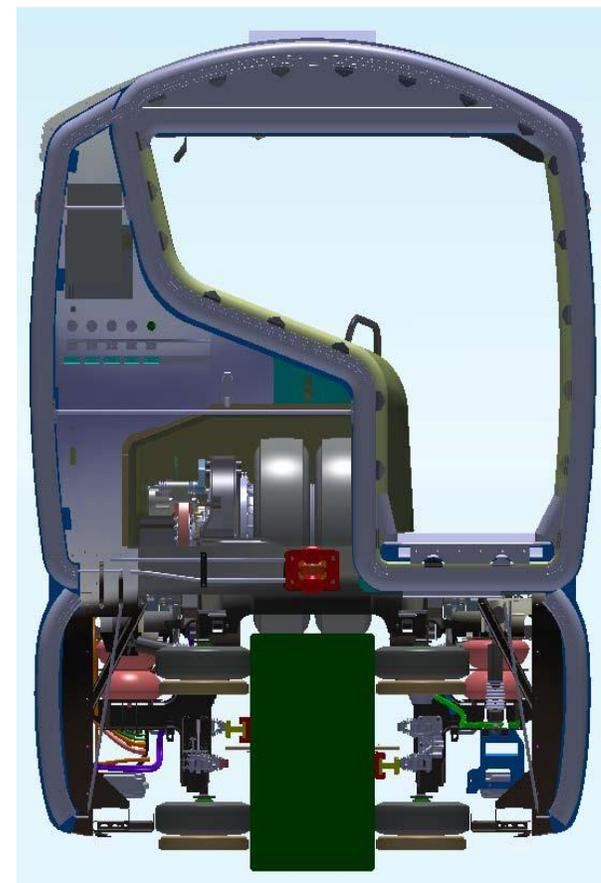
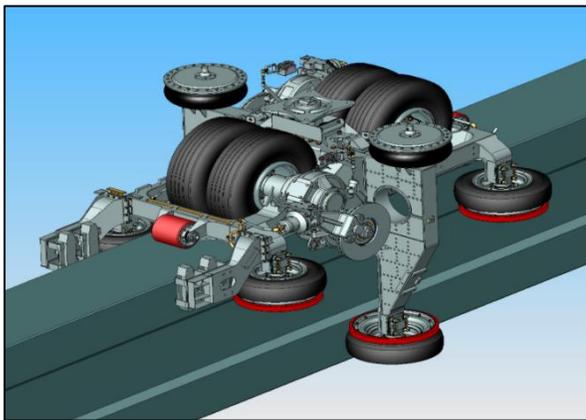
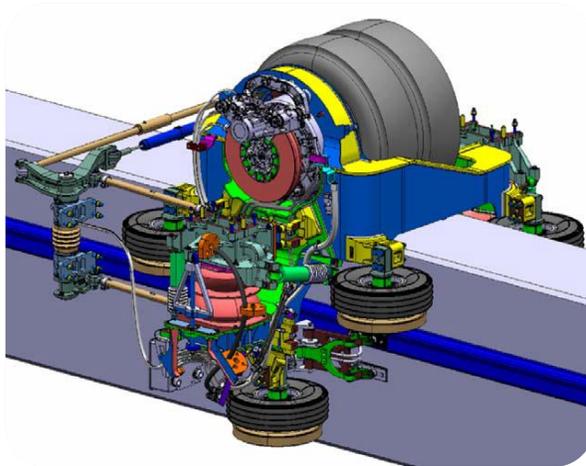
- 世界第一条悬挂式单轨线路，乌帕塔尔市和德国的名片
- 线路长度13.3公里，设18站，单程行驶时间约30分钟；日均客流约8万人次。



## 二、中小运量轨道系统简介

### 2、跨座式单轨

- 1820年，英国伦敦第一条单轨运输线出现，1888年，真正意义上的第一条跨座式单轨（爱尔兰利斯特维尔）建成



## 二、中小运量轨道系统简介

### 3、中低速磁悬浮

#### ● 主要特征



## 二、中小运量轨道系统简介

### 4、直线电机

- 主要特征



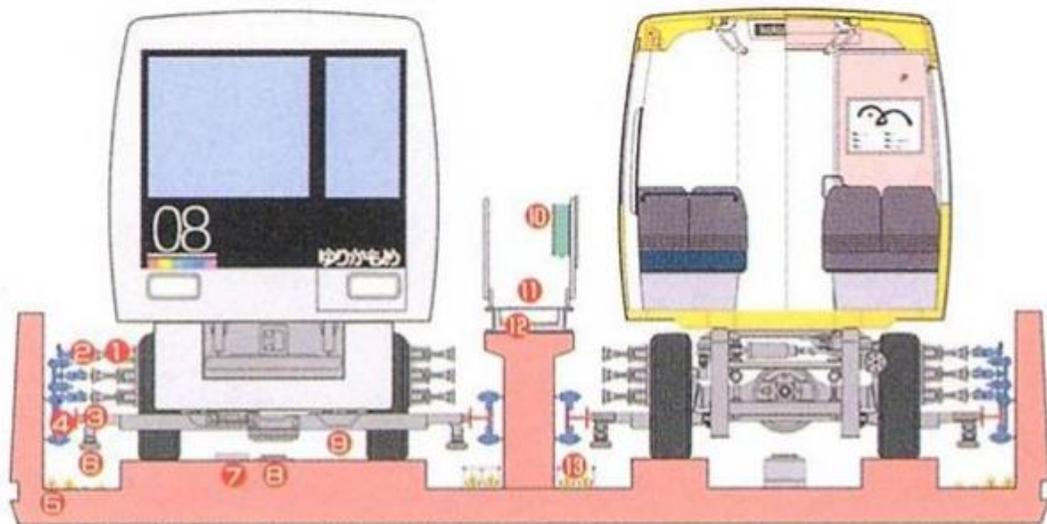
## 二、中小运量轨道系统简介

### 5、自动导向系统 (AGT)

#### ● 主要特征

- 沿特定轨道自动行驶，无人驾驶
- 车辆较地铁车辆小而轻，多采用胶轮系统

- 日本神户新交通
- 法国VAL
- 温哥华空中列车
- 新加坡轻轨系统



## 二、中小运量轨道系统简介

### 5、自动导向系统 (AGT)

#### ● 主要特征

- 车厢载客：45-100人；1-9节编组，一般不超过6节
- 车辆尺寸：长8~10m，宽2.4m，高3.2m
- 发车间隔：1.5~3分钟
- 最高速度：70km/h
- 单向运能：7000~20000人次/小时
- 转弯半径：主线100米，辅助线30米
- 爬坡能力：主线6%，辅助线9%

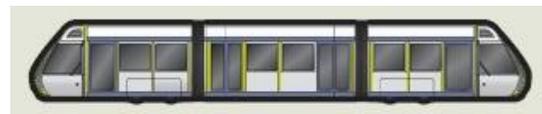


## 二、中小运量轨道系统简介

### 6、有轨电车

#### ● 主要特征

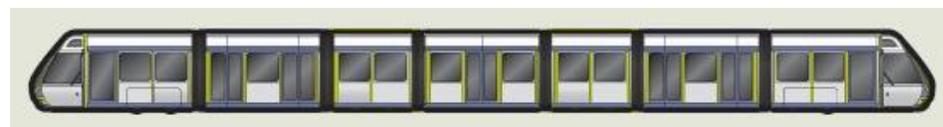
- 路权模式：独立/优先/混合
- 单向运能：0.8-1.5万人次/小时
- 最高速度：70-80km/h
- 动力模式：第三轨/架空网/超级电容蓄电池
- 转弯半径：25米
- 爬坡能力：主线6%轮



3模块，长约20m，载客约180人



5模块，长约35m，载客约300人



7模块，长约50m，载客约420人



## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 主要特征

- 个人快速运输系统（PRT）、群体快速运输系统（GRT）
- “站到站”式的快速无人驾驶车辆

个人快速运输系统（PRT）



群体快速运输系统(GRT)

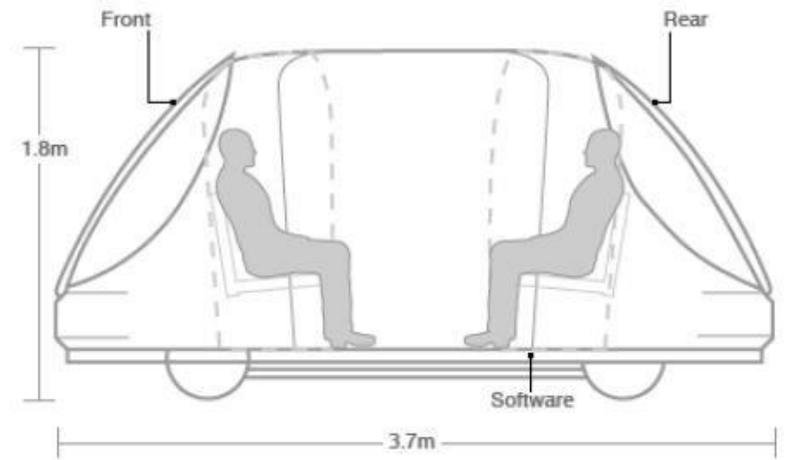


## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 个人快速运输系统

- 车厢载客：2~6人（部分留有站立空间）
- 车辆尺寸：长3.6~3.9m，宽1.4~2.1m，高1.8~2.5m
- 行驶速度：25~100km/h，150km/h(Skytran)
- 车头时距：2~5s，最短可达1.1s
- 车量运能：一般约2000人次/小时，可达7200人次/小时  
(包含站立1000人次)



## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 群体快速运输系统

- 车厢载客：约20人
- 车道运能可达10000人次/小时



PRT系统：雷达+GPS+传感器自动导向



## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 应用

- 美国摩根敦市
- 英国希思罗机场
- 马斯达尔城
- 韩国顺天

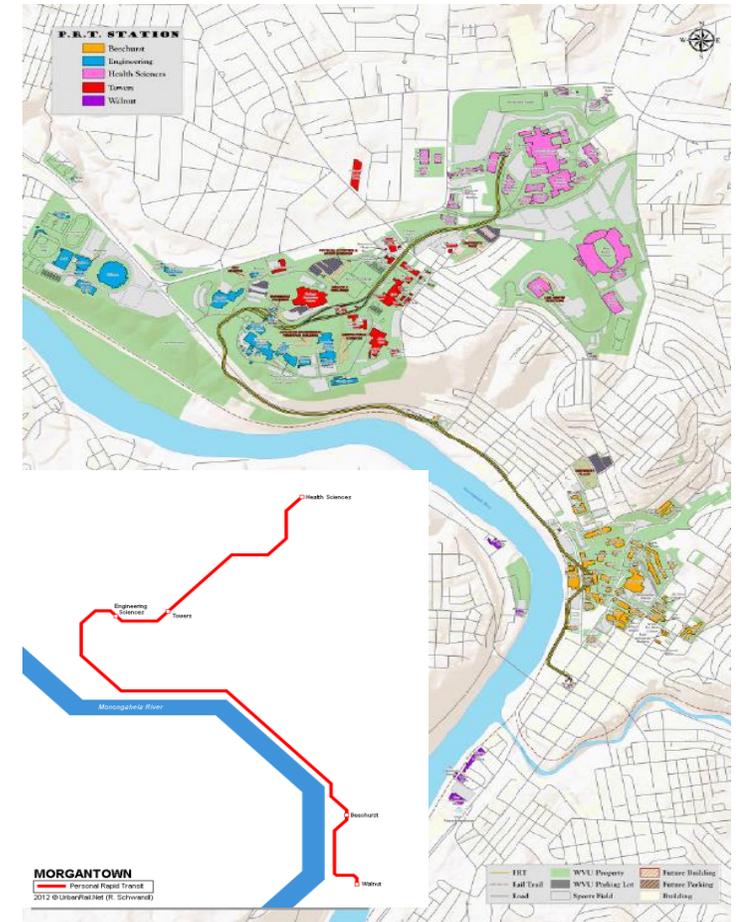


## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 美国摩根敦市 (1975年)

- 连接摩根顿市区、西弗吉尼亚大学校园和医学中心等地
- 线路长13.9km，设5站；车辆载客人数20人；每天运送1.6万人次乘客，最高记录31280人次。



## 二、中小运量轨道系统简介

### 7、小运量轨道交通

#### ● 伦敦英航希思罗机场（2010年）

- 连接机场商业停车场和T5航站楼
- 单线长度3.8km，设3个车站，每天运送乘客800人次，乘客平均等待时间10s。
- 规划连接2号航站楼和3号航站楼至各自停车场，并扩展线路至附近的酒店。



## 二、中小运量轨道系统简介

### 8、智轨

#### ● 主要特征

三模块列车	
车长	31.64m
车宽	2.65m
满载车重	48吨
最大载客人数	307人
最高车速	70km/h
最大爬坡能力	13%
最小转弯半径	15m
地板高度	330mm(100%低地板)



➤支持多种受电方式

蓄能电池-能量密度大、能耗小；  
受电弓直接受电-不限里程、功率大；  
超级电容-快充快放、回收能量。

➤根据线路的不同要求设置最大续航能力

可以根据不同路线及实际情况，有针对性的调整蓄能电池的数量，确保满足不同路线的要求。

阶段一：司机操控方向盘跟踪地面轨迹线行驶的人工驾驶；

阶段二：基于图像识别、车-地通信、线控转向等技术进行有人操控的辅助驾驶；

阶段三：基于视觉、雷达、激光等感知融合的车辆纵横向控制，实现有人值守的全自动驾驶。



智能驾驶系统



虚拟轨道视觉识别



自动转向



深圳国家高技术产业创新中心  
Shenzhen State High-tech Industrial Innovation Centre

## 二、中小运量轨道系统简介

### 9、BRT

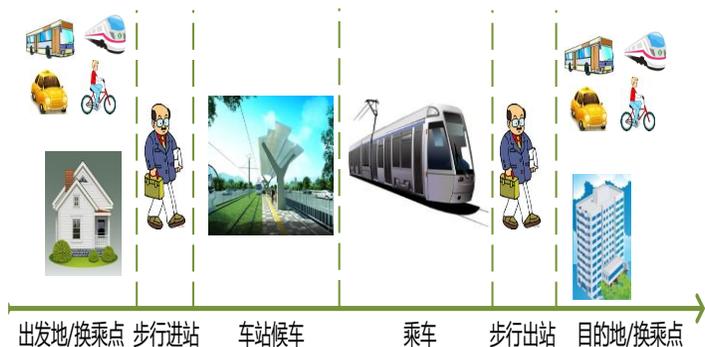
#### ● 主要特征



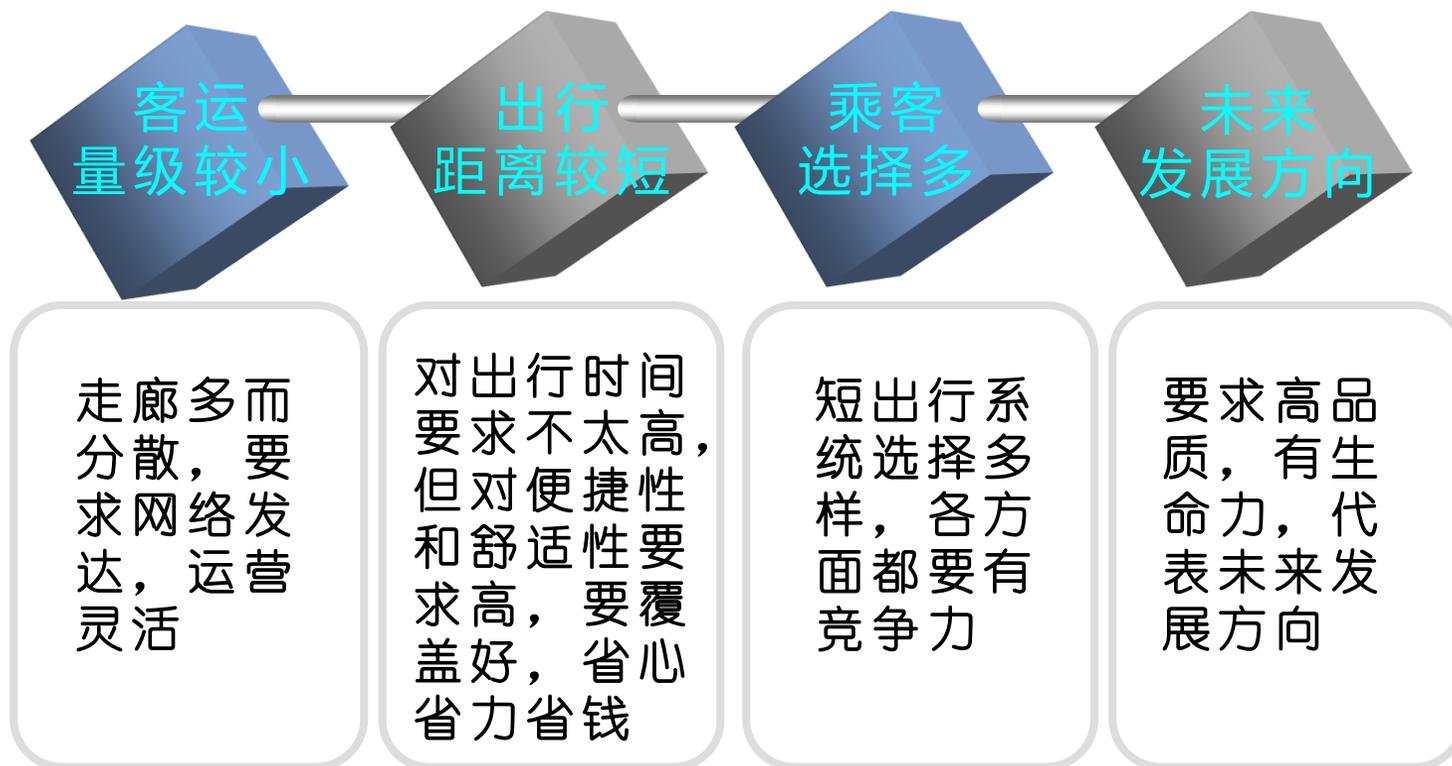
# 三、适应性分析及案例

## 1、需求分析

- 乘客对中小运量系统有更多更高的要求



## 需求特征



# 三、适应性分析及案例

## 2、目标分析

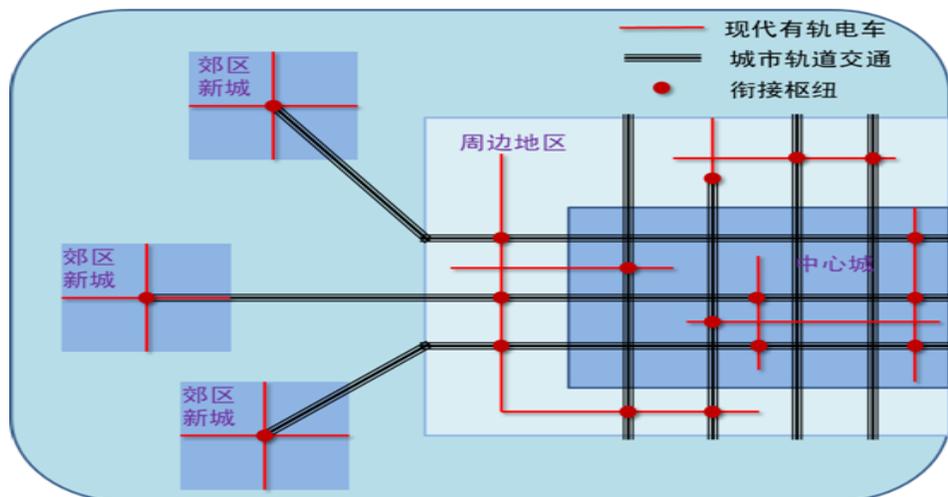
- 适应功能需求、服务水平、技术可靠、经济适用、节能环保等方方面面的要求



# 三、适应性分析及案例

## 3、功能定位

- 大城市：地铁的“补充、延伸、联络、过渡”
- 中小城市：骨干公交网络，核心区域公交
- 特色线：旅游观光、机场等枢纽的内、外部便捷线等



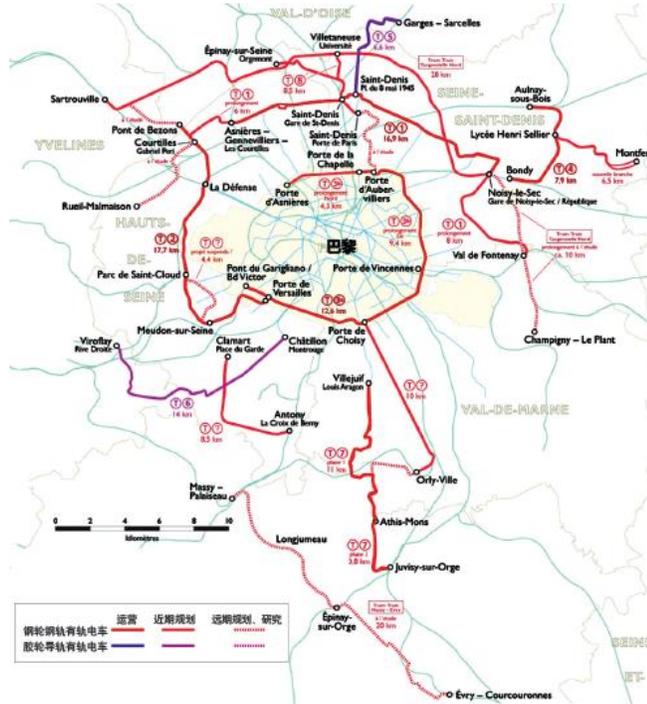
等级	城区常住人口规模	2016年 (座)	2020年 (座)
超大城市	>1000万	6	10
特大城市	500万< <1000万	10	20
I型大城市	300万< <500万	>20	150
II型大城市	100万< <300万		
中等城市	50万< <100万		240
I型小城市	20万< <50万		350
II型小城市	<20万		

# 三、适应性分析及案例

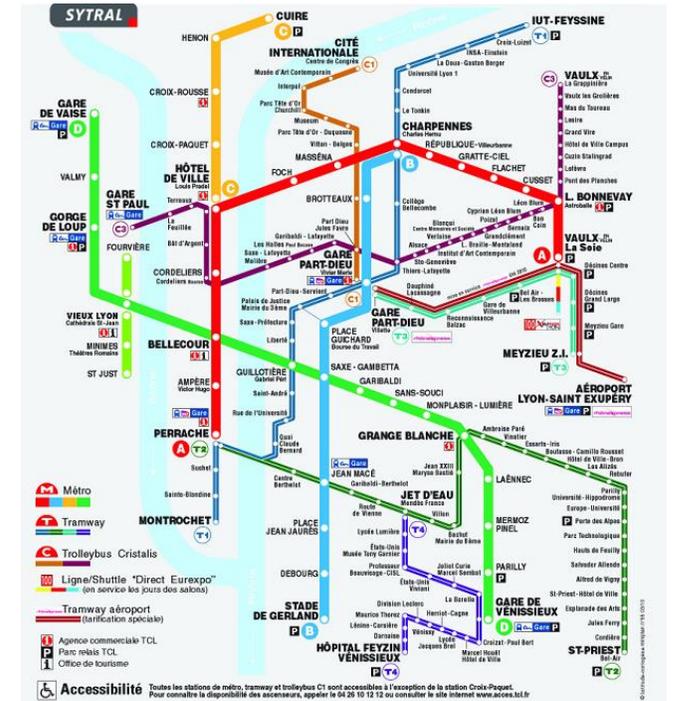
## 3、功能定位

- 国内大城市的规模和土地利用模式、财政能力、快速发展要求等，决定了难以完全依靠大运量轨道解决交通需求。
- 中小运量系统作为大城市轨道交通的“补充、延伸、联络、过渡”功能，有发展的必要性和可行性。

巴黎：地铁的接驳和补充



里昂：与地铁共同承担城市公交骨干

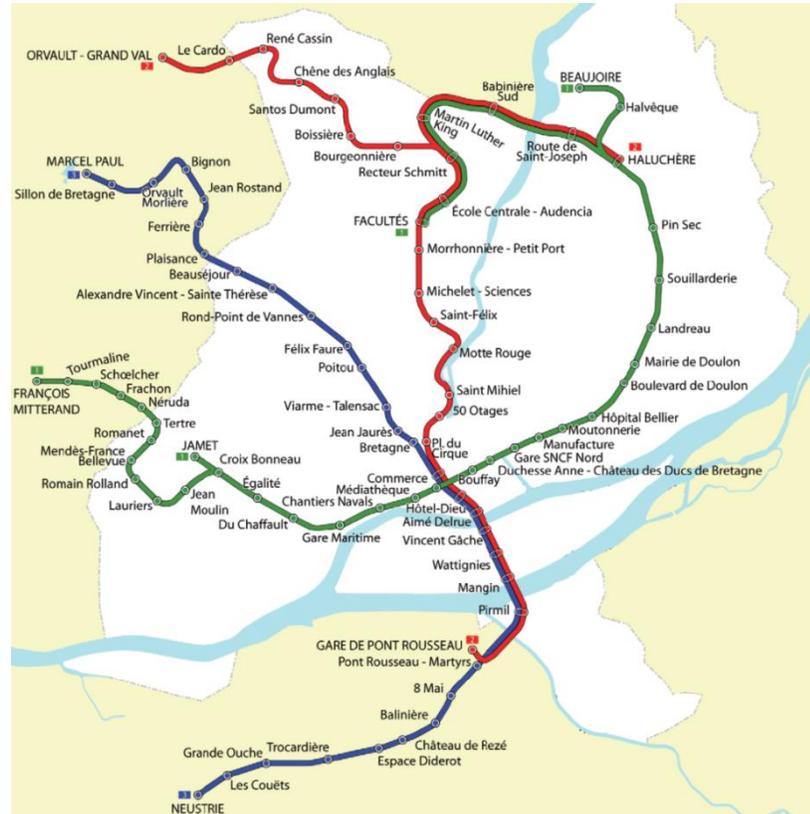


# 三、适应性分析及案例

## 3、功能定位

- 人口300万人以下的城市，面临常规公交运能与服务水平跟不上，又建不成地铁的困境。
- 不同城市的客运需求特征差异较大，同一城市中不同走廊、不同区域的需求特征也有差异。

南特：独立作为城市公交骨干



墨尔本：市域公交骨干+市区公交主体





## 三、适应性分析及案例

### 3、功能定位

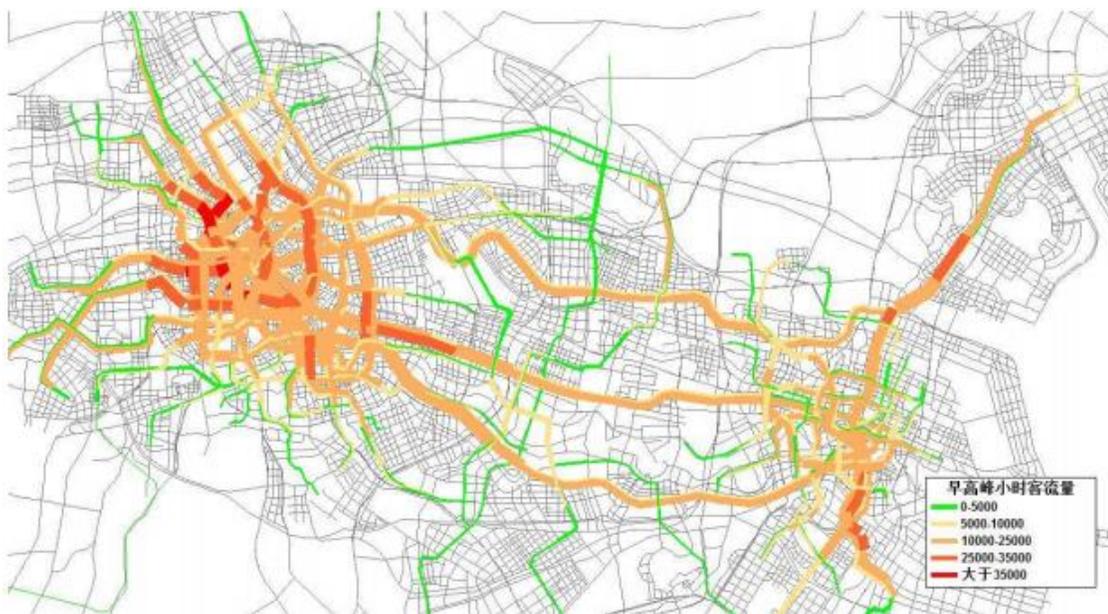
- 功能定位最重要：运能及服务水平要与需求特征相匹配
- A车B车问题
- 地铁走廊建了中小运量系统（南京河西南部核心区；广州、厦门BRT；重庆跨座式单轨等）
- 中小运量走廊建了地铁



# 三、适应性分析及案例

## 3、功能定位

### ● 特大城市B型车问题

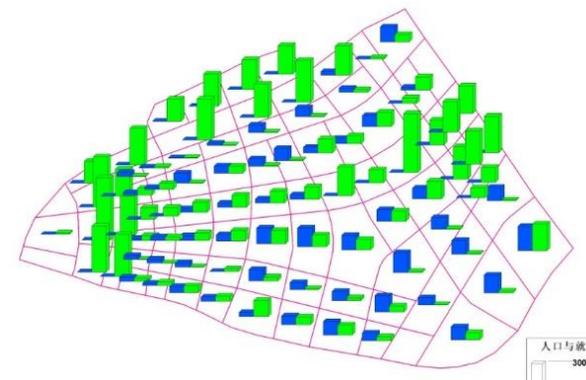
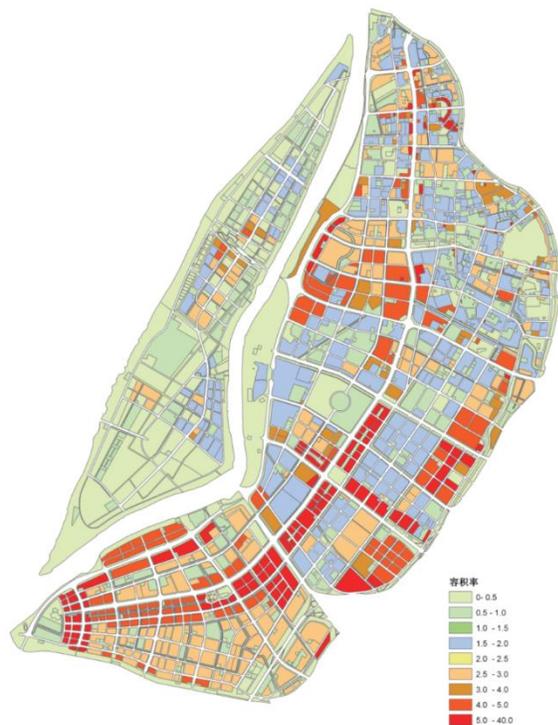


线路名称	长度(公里)	客运量(万人次/日)	高峰断面(万人次/小时)	平均运距(公里)
M1	46.2	119.4	4.0	6.8
M2	34.8	96.1	3.6	7.0
M3	33.3	96.0	3.2	6.3
M4	42.5	97.3	3.8	7.1
M5	34.2	105.5	3.2	5.9
M6	45.6	138.5	3.0	5.5
M7	41.6	84.6	2.8	6.7
M8	47.6	103.1	3.1	7.8
M9	51.3	64.0	2.6	15.5
M10	44.0	86.1	2.8	6.4
M11	44.2	77.8	2.1	7.2
M12	43.8	91.1	3.0	6.5
M13	47.1	65.4	1.7	6.8

# 三、适应性分析及案例

## 3、功能定位

- 南京河西南部核心区应建地铁的走廊建了有轨电车



# 三、适应性分析及案例

## 3、功能定位

- 广州、厦门BRT走廊应该建地铁



## 三、适应性分析及案例

### 3、功能定位

- 重庆跨座式单轨不能满足客运需求
  - 高峰断面超过3万人次
  - 编组不宜太长（2号线4/6编组、3号线6/8编组，土建预留8节编组）



### 三、适应性分析及案例

#### 4、乘客需求（服务水平）

- 安全

- 救援（单轨、磁浮）？
- 混合路权（有轨电车、智轨）？

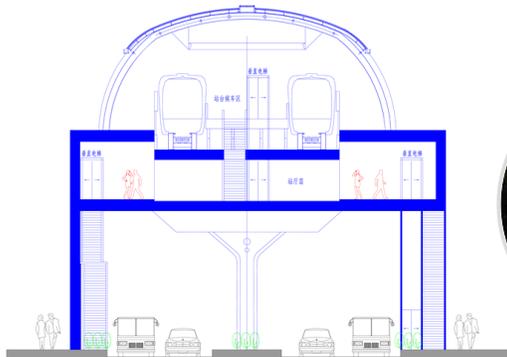
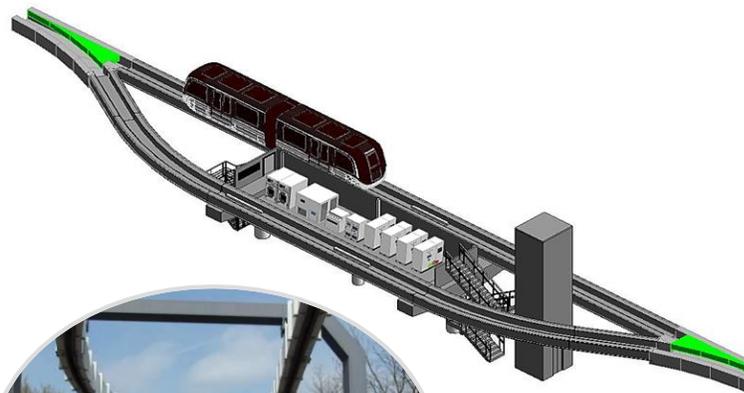


# 三、适应性分析及案例

## 4、乘客需求（服务水平）

### 便捷

- 上下车便捷（不要爬楼梯）
- 覆盖好（站点多，步行距离短）
- 售检票简单
- 直达性好（网络化运营，少换乘）
- 高架系统能否做到？



## 三、适应性分析及案例

### 4、乘客需求（服务水平）

#### ● 舒适

- 平稳（钢轮钢轨）
- 噪音低（胶轮）
- ... ..
- 悬挂式单轨？
- BRT？

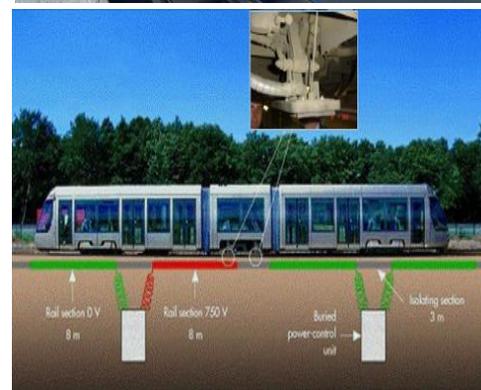


# 三、适应性分析及案例

## 5、城市需求

### ● 技术可靠

- 供电系统：接触网（及普通三轨）、储能式（电池、超级电容）、其它？（阿尔斯通APS技术、庞巴迪感应充电PRIMOVE技术、安塞尔多电磁吸附TRAMWAVE技术等）
- 中低速磁悬浮（不均衡载荷下稳定性？）
- 智轨（视频导向系统？）



# 三、适应性分析及案例

## 5、城市需求

### ● 经济适用（建设及运营成本）

- 中低速磁悬浮？
- 单轨？
- 直线电机？
- 跨座式单轨？
- APM？
- ... ..

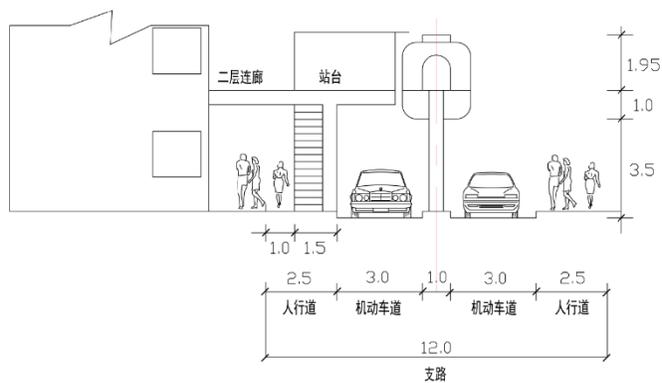
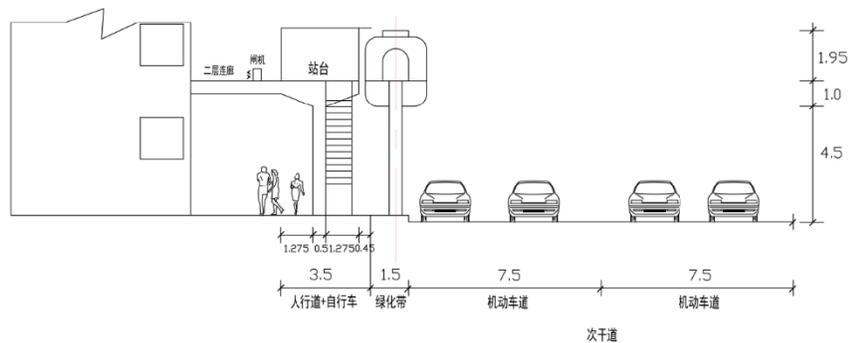


不能仅看总成本，要分析人均成本

# 三、适应性分析及案例

## 5、城市需求

### 景观



深圳国家高技术产业创新中心  
Shenzhen State High-tech Industrial Innovation Centre

# 三、适应性分析及案例

## 5、城市需求

### ● 气候适应性

- 高寒高热：高架系统的空调等能耗
- 冰雪、冰冻地区地面及高架系统的行车安全性
- 台风等恶劣气候条件的高架系统
- 频繁暴雨、积水等状况对地面系统的影响

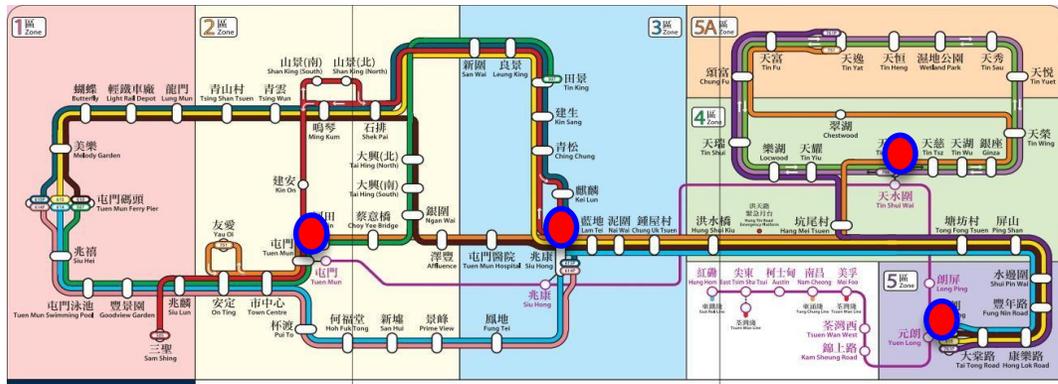
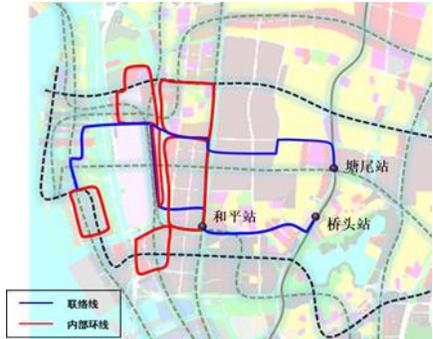
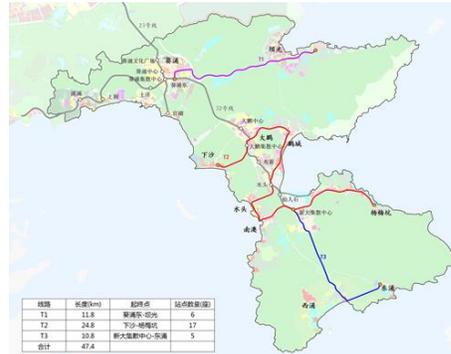


# 三、适应性分析及案例

## 5、城市需求

### ● 运营管理

- 有灵活运营的条件
- 能网络化运营
- 换乘便捷



# 三、适应性分析及案例

## 6、社会发展要求

### ● 节能、环保

- BRT?
- 磁悬浮系统?
- 直线电机?
- 胶轮系统?
- ... ..



# 三、适应性分析及案例

## 6、社会发展要求

### ● 发展方向

- 车辆小型化、智能化
- 运营多交路、网络化
- 导向快速化、简单化
- 发车高频次、低载客
- BRT? 单轨? 单轨? 中低速磁浮?



# 三、适应性分析及案例

## 6、社会发展要求

### ● 审批问题

- 有轨电车属于中小运量系统，但不是所有的中小运量系统都能叫有轨电车。



# 三、适应性分析及案例

## 7、汇总

系统	悬挂式单轨	跨座式单轨	中低速磁浮	直线电机	自动导向轨道	有轨电车	PRT & GRT	智轨	BRT
安全救援	*	*	*	***	***	*****	***	*****	*****
便捷	*	*	*	***	***	*****	***	*****	*****
舒适	*	***	*****	*****	***	*****	*****	*	*
经济	*	***	***	***	*****	*****	*	*****	*****
技术稳定	*****	*****	***	*****	*****	*****	***	***	*****
景观协调	*	*	*	*	*	*****	***	*****	*
气候适应	*	*	*	***	*	*****	*	***	***
运营组织	*	*	*	***	***	*****	*****	*****	*****
节能环保	***	***	***	***	***	*****	***	*****	***
发展方向	*	***	*	*	*****	*****	*****	***	*
审批程序	?	-	-	-	?	-	?	?	-

## 四、小 结

- 1、几乎每个系统都有较长的发展历史，都不能算是新产品，更谈不上是国内创新。
- 2、每个系统都有其独特的优势，但也都有明显的缺点。城市交通需求特征多样，这些系统都有用武之地。但只有用在合适的地方，才能发挥优势，避免劣势。
- 3、有轨电车为什么能在欧洲等地复兴？因为其在车辆等方面有真正更新换代的改良。这对我们思考近期哪些系统有发展潜力有一定的借鉴意义。
- 4、未来，哪些系统能得到应用和发展？取决于科技的应用和经济水平的提高。在经济条件好的地区，智能化的地面小运量系统在短距离出行中有可能获得优势。



## 四、小 结

- 5、没有绝对的好与不好，综合适应性好就好。
- 6、需求要分析透（功能需求、环境需求、使用者需求、社会发展需求）。
- 7、优缺点要看清楚（特别是劣势不要忽视）。
- 8、实在说不清，可以小规模一试，让事实说话。



感谢聆听！