

# 低运量轨道交通各制式应用前景分析

中铁第四勘察设计院集团有限公司 丛嘉坤

**摘要：**低运量轨道交通作为多层次城市轨道交通的重要组成部分，发展前景广阔。针对目前低运量轨道交通制式种类多、建设选择决策困难等问题，本文从技术标准、审批政策、工程条件以及建设、运营全生命周期成本等角度，分析各类制式的优势与不足，探究其适用场景和发展前景，助力低运量轨道交通健康可持续发展。

**关键词：**低运量；轨道交通；制式；建设成本；审批流程；应用场景

**DOI:** 10.12433/zgkjtz.20240650

## 一、城市轨道交通建设的发展现状

随着我国城市化进程的加快，城市轨道交通建设的分层次、多元化需求日益强烈。大城市在建设地铁、轻轨、跨座式单轨等传统大、中运量轨道交通，搭建城市轨道交通主干网络的同时，需要低运量轨道交通作为主网络的延伸和补充，而中小城市可以将运量轨道交通作为城市的骨干交通，搭配公交、微巴形成完善的公共交通系统。近年来的一系列政策文件中也提出轨道交通发展量力而行、因地制宜的要求，提倡多制式发展。2022年7月，住房和城乡建设部和国家发展改革委联合印发《“十四五”全国城市基础设施建设规划的通知》（建城〔2022〕57号），明确指出，I型大城市应结合实际推进轨道交通主骨架网络建设，并研究利用中低运量轨道交通系统适度加强网络覆盖，尽快形成网络化运营效益；符合条件的II型大城市结合城市交通需求，因地制宜推动中低运量轨道交通系统规划建设。低运量轨道交通的发展进入提速期，当前对建设舒适、便捷、节能的低运量轨道交通系统的需求尤为迫切。

我国低运量轨道交通发展起步较晚，但近年来发展势头极为迅猛，且出现如云巴、智轨、空轨等具有自主知识产权的跨界类产品。目前，低运量新型轨道交通制式繁多，对不同新型轨道系统制式的特点、优势及适应性缺少综合、全面的分析研究，缺乏足够的案

例和数据支撑。不同厂家在推广自身产品时往往不够客观、全面，使得地方建设决策者难以抉择，项目常因制式选择反复而中途搁置，给新型轨道交通行业的发展带来较大影响。

针对上述问题，亟需对主要低运量轨道交通系统各制式深入开展研究，从各制式的技术标准、建设及审批程序、工程实施条件以及建设、运营全生命周期成本等多维度进行综合分析比较，探讨低运量轨道交通各制式适应性及适用场景的一般结论，为今后各地建设决策者提供参考。

## 二、低运量轨道交通系统制式分类

### （一）城市轨道交通分类

根据《城市轨道交通分类》（中城轨〔2020〕67号），城市轨道交通按运输能力可分为大运能、中运能、低运能三类，具体分类标准如表1所示。

表1 按运输能力划分的城市轨道交通分类

分类名称	运输能力(人次/小时)
大运能系统	≥ 30000
中运能系统	10000 ~ 30000 (不含)
低运能系统	小于 10000

同时城市轨道交通按照系统制式划分为十类，各制式及对应的运能宜符合表2的规定。

表2 按系统制式划分的城市轨道交通分类

系统制式	运输能力(人次/小时)
地铁系统	≥ 30000
市域快轨系统	≥ 10000
轻轨系统	10000 ~ 30000
中低速磁浮交通系统	10000 ~ 30000
跨座式单轨系统	10000 ~ 30000
自导向轨道系统	5000 ~ 20000
悬挂式单轨系统	5000 ~ 15000
有轨电车系统	5000 ~ 12000
导轨式胶轮系统	5000 ~ 12000
电子导向胶轮系统	5000 ~ 12000

## (二)低运量轨道交通系统制式

按照《城市轨道交通分类》(中城轨〔2020〕67号)的分类标准,一般认为低运量轨道交通对应运能分类中的低运能系统,即运输能力低于10000万次/时的系统。对照系统制式分类标准,地铁系统属于大运能系统,市域快轨系统、轻轨系统、中低速磁浮交通系统和跨座式单轨系统属于中运能系统,自导向轨道系统、悬挂式单轨系统、有轨电车系统、导轨式胶轮系统和电子导向胶轮系统均介于低运能系统与中运能系统之间,其中自导向轨道系统更接近中运能系统,其余四种制式更接近于低运能系统。

### 三、低运量轨道交通各制式特点分析

#### (一)有轨电车系统

##### 1.概念

有轨电车系统是主要以城市道路为基础,主要在地面敷设轨道的低运量城市轨道交通系统。目前,北京、上海、广州、深圳等20余个城市均已建成有轨电车线路,以钢轮钢轨有轨电车为主,少数线路采用胶轮有轨电车,按照供能方式可分为接触网、超级电容以及车载储能有轨电车。

##### 2.技术标准

有轨电车线路以地面敷设为主,局部地段通过经济技术比选后可采用高架或地下敷设(一般地面敷设比例不小于70%)。路权形式通常采用半独立路权,特殊情况下采用全独立路权或全共享路权。

根据目前常规有轨电车车辆技术参数,系统最高设计速度70km/h,车辆最小转弯半径为25m,最大爬坡能力60%。

##### 3.建设及审批流程

结合《国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》(国办发〔2018〕52号)等国家相关文件要求及相关项目建设经验,有轨电车系统作为低运量轨道交通系统,科学编制低运量轨道交通线网规划,纳入地方轨道交通线网规划统一管理,在线网规划的基础上编制低运量轨道近期建设规划,由省级发改部门会同住建等相关部门参照地铁、轻轨模式进行审核,并上报国家发改委和住建部。之后由省级发改部门依据建设规划审批具体的低运量轨道交通项目。

##### 4.工程建设条件

有轨电车双线轨行区横向净宽8m,考虑隔离护栏和电缆井设置条件,需占用8~10m宽的道路。敷设有轨电车后若保留机动车双向六车道,建议道路红线不小于40m,若保留机动车双向四车道,建议道路红线不小于33m。

对于有较宽的中央绿化带或者沿河绿带的路段,有轨电车可以直接利用既有绿带敷设,改造工程量小,但对于无绿化带的路段,路面破除恢复和道路拓宽工程量较大。

建设周期受线路长度、敷设方式、周边征拆及配套市政建设影响,通常为2年左右,部分桥隧比例较高的线路建设周期会更长。

##### 5.全生命周期成本

有轨电车系统国产化率较高,除极少数第三轨充电车辆外,厂商可以生产绝大多数有轨电车车辆、配电系统及检修设备。

有轨电车工程投资主要受线路长度、敷设方式、供电方式、车辆基地规模等影响,指标差异较大。根据以往大部分项目的实际情况,有轨电车工程总投资指标约为1.4亿~2.1亿元/正线千米,其中直接工程投资(含车辆购置费)指标约为1亿~1.7亿元/正线千米。

运营成本受线路长度、售检票模式、配属车数等影响,参考已运营的线路,运营定员10~13人/千米,年运营成本为200万~300万元/千米。

## (二)电子导向胶轮系统

##### 1.概念

电子导向胶轮系统是无须铺设物理轨道,利用虚拟轨道导向,使用胶轮列车在道路路面走行的新型轨道系统。目前,常见的电子导向胶轮系统包括利用标线识别循迹的智轨系统(ART)和利用埋设磁钉识别循迹的数轨系统(DRT)。

##### 2.主要技术标准

线路沿地面道路敷设,一般只有道路出现高架和地下段时才随道路一起高架、地下敷设。路权形式通常采用半独立路权,部分地区可采用混合路权。

根据目前电子导向胶轮系统车辆技术参数,系统最高设计速度70km/h,车辆最小转弯半径15m,最大爬坡能力100%。

##### 3.建设及审批流程

《“十四五”低运量轨道交通系统规划建设重点工作要点》中提出,对于以地面敷设为主且直接工程投资与地面快速公交系统基本相当的低运量轨道交通项目,可简化审批(核准)程序。电子导向胶轮系统的敷设方式和造价一般符合上述要求,可简化审批程序。结合相关项目建设经验,与省级发改部门沟通并取得同意后,电子导向胶轮系统项目可由市级发改部门进行审批。

##### 4.工程建设条件

双线占用车道横向净宽8m,困难条件下不小于

7.5m,需占用8m宽的道路。如果既有道路的利用较好,可以直接在既有道路上画线或铺设磁钉形成虚拟轨道,改造量小。如果系统兼容性好,常规公交和社会车辆在一定时段和区间也可以共用其车道,提高道路资源的利用效率。线路建设周期通常为1年左右。

#### 5.全生命周期成本

电子导向胶轮系统由厂商推出并进行推广,车辆、设备均为完全国产化。

结合实际项目情况,该系统工程总投资指标约为0.5亿~0.8亿元/正线千米,其中直接工程投资(含车辆购置费)指标约为0.4亿~0.6亿元/正线千米。

参考已运营的线路,运营定员8~10人/千米,年运营成本约200万元/千米。

### (三) 导轨式胶轮系统

#### 1.概念

导轨式胶轮系统是指轻型胶轮车辆利用导向轮和走行轮在小型轨道梁上走行的低运量轨道交通系统。

#### 2.主要技术标准

线路为全独立路权,以高架敷设为主,仅在局部特殊路段采用隧道或地面敷设。

根据目前导轨式胶轮系统车辆技术参数,系统最高设计速度80km/h,车辆最小转弯半径15m,最大爬坡能力80%。

#### 3.建设及审批流程

根据国家文件规定及国家发展改革委的回复意见,导轨式胶轮系统作为低运量轨道交通系统,需科学编制近期建设规划,省级发展改革部门会同住房和城乡建设部门等相关部门要参照地铁、轻轨模式对建设规划进行审核,从严把控工程造价和客流水平。

#### 4.工程建设条件

通常沿路中或路侧绿化带设置桥墩,墩柱直径一般小于1.5m,考虑到基础及限界要求,在道路上敷设时需要宽度不小于2.5m的绿化带以布设墩柱。考虑高架线路对两侧建筑的影响,沿线道路红线不宜小于40m,并且需按照地方市政及环保要求,核实高架段两侧建筑间距。建设周期一般为2年左右。

#### 5.全生命周期成本

目前具有代表性的云巴系统由厂商推出并进行推广,车辆、设备均为完全国产化。

结合实际项目情况,该系统工程总投资指标约为1.4亿~2.5亿元/正线千米,其中直接工程投资(含车辆购置费)指标约为1亿~1.9亿元/正线千米。

参考已运营的线路,运营定员10~15人/千米,年运营成本约200万~300万元/千米。

### (四) 悬挂式单轨系统

#### 1.概念

悬挂式单轨是车体悬挂于导向梁下运行的单轨系统,其导向梁一般采用钢制箱形中空断面,内含集电靴、通信电缆、导轨、运行轨并包容车厢的车架,通过悬挂使列车沿导轨运行。

#### 2.主要技术标准

线路为全独立路权,以高架敷设为主,仅在穿越山体段采用隧道敷设。

根据目前导轨式胶轮系统车辆技术参数,系统最高设计速度80km/h,车辆最小转弯半径30m,最大爬坡能力60%。

#### 3.建设及审批流程

悬挂式单轨系统与导轨式胶轮系统审批流程类似,需科学编制近期建设规划,省级发展改革部门会同住房和城乡建设部门等相关部门要参照地铁、轻轨模式对建设规划进行审核,从严把控工程造价和客流水平。

#### 4.工程建设条件

通常沿路中或路侧绿化带设置桥墩,桥墩布设要求和道路轨距与导轨式胶轮系统相近,同时需要满足车下净空要求。建设周期一般为2~3年。

#### 5.全生命周期成本

国产化率较高,目前车辆及所有相关设备可基本实现国产化。

结合实际项目情况,该系统工程总投资指标约为1.8亿~3亿元/正线千米,其中直接工程投资(含车辆购置费)指标约为1.3亿~2.3亿元/正线千米。

参考已运营的线路,运营定员10~15人/千米,年运营成本约250万~300万元/千米。

## 四、低运量轨道交通各制式应用前景

### (一) 有轨电车系统

对于大城市,有轨电车系统可作为大运量轨道交通线网的加密和补充,加强主干交通网络末端的交通延伸及通达性;也可作为中小城市的骨干交通,配合常规公交,搭建公共交通网络;在地形起伏不大的景区,还可以将有轨电车作为观光旅游线路建设。

目前,21座城市已建成运营38条线路,社会评价褒贬不一。目前批评的观点包括旅行速度低、对地面交通影响大等方面。通过设置一定比例的独立路权(高架、地下或地面无平交路口的路段)可有效解决上述问题,但相应地造成投资额增加,容易超过国家文件规定的指标。如何在工程建设成本和运行效率、交通影响之间取得平衡,是今后有轨电车建设需要面对

的核心问题。

结合实际项目情况,综合考虑城市经济水平、客流强度、通行效率需求以及沿线道路条件和交通情况,基于客流预测、交通影响评价、投资估算等研究进行详细论证,选择合适的敷设方式和路权规划。

### (二)电子导向胶轮系统

作为地面敷设为主的低运量轨道交通系统,其功能定位与有轨电车系统相似,同时由于电子导向胶轮系统改线的灵活性,也可以在远期大运量轨道交通的通道上敷设,作为客流培育线,远期大运量轨道建成后,可调整到其他通道运营。

电子导向胶轮系统凭借相对简化的审批流程、极高的性价比以及接近实体轨道的循迹运行能力,近年来得到了迅速发展。该系统车辆直接在城市道路路面上行驶,具备与常规公交共用车道和站台,与社会车辆在局部路段共用车道的条件。因此,结合线路沿线道路条件,通过合理的交通规划组织和信号控制,在不影响列车运营效率和安全性的情况下,实现车道、站台的利用率最大化,是该系统今后进一步推广的关键之所在。

### (三)导轨式胶轮系统

导轨式胶轮系统有效解决地面交通拥堵问题,适用于道路交通拥挤的城市核心区,作为城区的轨道交通骨干线或加密线,以及机场、车站等大型枢纽与城市中心区的接驳线。同时由于其低运量、小发车间隔的特点,可以作为大型枢纽和景区、游乐园的内部接驳线。

导轨式胶轮系统凭借其体量小、独立路权、不占道路资源等特点,受到地方建设决策者和民众的青睐。但工程投资额较高,建设中易超过国家对低运量轨道交通的投资控制指标,同时其运量上限较小,不利于充分发挥独立路权封闭系统的优势,不适用于远期客流量较大的城市主要客流廊道上。今后想要进一步推广,一方面要尽可能地控制工程投资额,简化土建、机电工程以及车辆基地规模,提高性价比;另一方面需要研究车辆灵活编组,提升系统最大运能。

### (四)悬挂式单轨系统

悬挂式单轨为全封闭独立路权系统,由于不占道路空间,适用于道路交通拥挤的城市核心区,作为城区的轨道交通骨干线或加密线,以及机场、车站等大型枢纽与城市中心区的接驳线。同时悬挂式单轨具有独特的车内俯视视野,可用于景区旅游线,有着特别的景观视觉效果。

目前,我国已形成了具有完全自主知识产权的悬挂式单轨技术和产品,但实际项目主要以试验线为主,正式运营的线路少,车辆悬挂于轨道梁下运行,其应急救援效率和可靠性仍需要在实际运营中进一步验证。同时悬挂式单轨工程投资较高,易超出国家对低运量轨道交通的限制指标。因此,悬挂式单轨系统想进一步推广,需找准定位,尽可能地控制工程投资,提高性价比。

### 五、结语

近年来,低运量轨道交通的发展虽历经波折,但随着国家对低运量轨道交通发展的有序引导和建设流程的规范化、明确化,其后续发展前景依然十分广阔。在科学规划、锚定客流需求的同时,因地制宜选择合适的制式,提升低运量轨道交通全生命周期效益显得尤为重要。各类系统制式在后续的研究和发展中需要进一步扬长避短,充分发挥自身优势的同时降低建设及运营成本,建设方也需多方面了解各制式特点、综合评判后进行决策,共同推动低运量轨道交通可持续发展。

### 参考文献:

- [1]汪毅明.综合监控系统在中低运量城市轨道交通建设中的应用探讨[J].信息系统工程,2021.(05):35.
- [2]林玉.中低运量城市轨道交通迎来因地制宜发展新机遇[J].世界轨道交通,2022(09):26-27.
- [3]易立富,王梓丞,李文涛,等.中低运量轨道交通信号系统[J].铁道通信信号,2022,58(06):6.

作者简介:丛嘉坤(1992),男,江苏省南通市人,硕士,工程师,研究方向为城市轨道交通规划及设计。