

导轨式胶轮系统(云巴)规划设计要点研究

——以济南市高新东区云巴项目规划设计为例

马学祥, 周光鑫, 田 杰, 孔祥科

(山东轨道交通勘察设计院有限公司, 山东 济南 250014)

摘 要: 导轨式胶轮系统(云巴)作为低运量轨道交通体系的重要组成部分,近年来在我国多个大城市开通运营和建设,受到了各级政府的广泛关注。其具有建设周期短、建设费用低、运营管理省、出行效率高、低能耗、低噪声等优势。为引导该系统制式高质量发展,结合济南高新东区云巴项目建设项目,总结了在规划和设计过程中关于客流、换乘、敷设位置等多方面的设计要点,为今后导轨式胶轮系统(云巴)规划设计提供了参考和借鉴。

关键词: 导轨式胶轮系统;云巴;规划设计;要点研究

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)07-0375-05

Research on Key Points for Planning and Design of Rail-mounted Rubber Wheel System (Yunba) in Jinan

MA Xuexiang, ZHOU Guangxin, TIAN Jie, KONG Xiangke

(Shandong Rail Transit Survey and Design Institute Co., Ltd., Jinan 250014, China)

Abstract: As an important part of the low-capacity rail transit system, the rail-mounted rubber wheel system (Yunba) has been put into operation and construction in many major cities in China, and has received extensive attention from governments at all levels in recent years. This system has the advantages such as short construction period, low construction cost, less operation and management, high travel efficiency, low energy consumption and low noise. In order to guide the high-quality development of this system, and combined with the Yunba construction project in the Jinan High-tech East Area, the design essentials of passenger flow, transference, laying position and other aspects in the planning and design process are summarized, which provides the reference for the future planning and design of the rail-mounted rubber wheel system (Yunba).

Keywords: rail-mounted rubber wheel system; Yunba; planning and design; essential study

0 引 言

近年来,随着城市化进程的加快,城市交通需求迅猛增长,传统公交系统与地铁、轻轨等轨道交通方式在应对城市交通拥堵、环境污染和资源浪费等问题上显得力不从心。多层次轨道交通网络融合发展成为趋势,而在低运量轨道交通系统中传统的制式已无法满足当下国家的总体要求和市民对品质的需求。在此背景下,导轨式胶轮系统(又称云巴)作为一种创新型轨道交通方式逐渐受到关注。

云巴是一种以小运量为特点的胶轮轨道交通模

式,采用轻量化车体和胶轮导向技术,具有建造成本低、施工周期短、运营噪声小、转弯半径小、爬坡能力强等显著优势。相较于地铁和轻轨,云巴能够以较低的成本快速构建城市骨干或辅助交通网络,缓解中心城区的交通压力,同时满足郊区、新城区或旅游景区对灵活交通方式的需求。

云巴的适用性广泛,特别适合中小城市、城市副中心和大型居住社区作为城市公共交通的补充。其高性价比和灵活布置的特点,也使其在城市更新、城市新区开发以及特殊地形地区(如山地、河谷)中具有独特的优势。此外,云巴在节能减排方面表现出色,可助力城市实现绿色交通体系构建目标,为推动可持续发展提供了重要支持。

收稿日期: 2024-10-19

作者简介: 马学祥(1983—),男,学士,高级工程师,从事轨道交通规划与线路设计研究工作。

1 云巴的发展现状

1.1 已运营和在建云巴情况

截至2024年8月底,除比亚迪公司在企业园区内自己投资建设的园区线外,全国已通车运营的云巴线路有重庆璧山1号线、深圳坪山1号线、长沙大王山旅游线、西安高新线,在建线路有济南高新东区云巴项目、贵阳T2线、南宁D1、D2线、合肥L1线和郑州T3线,其中合肥、南宁和郑州线路正在设计过程中。各大城市建设情况如表1所列。

表1 云巴运营和在建项目统计表

线路名称	线路长度/ km	车站个 数/座	进度	通车日期
重庆璧山1号线	15.4	15	已运营	2021-04-16
深圳坪山1号线	8.5	11	已运营	2022-12-28
长沙大王山 旅游线	8.3	9	已运营	2023-05-09
西安高新线	17.2	18	已运营	2024-08-12
贵阳T2线	17.2	18	在建	预计2025年底
济南高新东区 云巴项目	30.7	32	在建	预计2025年底
南宁D1线	14.9	19	设计	—
南宁D2线	11.9	15	设计	—
合肥L1线	17.8	17	设计	—
郑州T3线一期	16.0	18	设计	—

1.2 济南高新东区云巴项目概况

济南高新东区云巴是一条以通勤接驳为主,生活服务出行为辅的低运量轨道交通线路,途经高新区和历城区,与轨道交通4、8和2号线换乘。线路设计为环线,沿春园路、世纪大道、春暄路、飞跃大道、唐冶中路、科创路、春博路、庄科南路、大正路高架敷设,全长30.7 km,设车站32座,其中换乘站5座。该项目作为国家新规出台后第一个批复的低运量项目,也是目前已批云巴项目中造价最低、长度最长、换乘车站最多的项目。该项目主要服务唐冶和高新区大运量轨道交通薄弱地区,有利于支撑片区发展,丰富轨道交通层级,给大运量轨道交通喂给客流,进一步支撑城市空间格局,推动全市经济发展,助力强省会战略。

2 规划设计要点分析

2.1 线路选线

根据中国城市轨道交通协会公布的《城市轨道交通2023年度统计和分析报告》^[1],全国已开通运营低运量轨道交通系统(含有轨电车、电子导向胶轮系

统、导轨式胶轮系统、悬挂式单轨)的城市有30个,共有54条789 km线路,平均客流强度仅有0.09万人次km/d。从统计数据来看,大部分线路初期客流强度与预测客流有较大偏差,低运量轨道交通对引导城市发展和疏散客流的作用暂未达到预期。

为避免出现上述问题,济南市高新东区云巴项目在选线时严格依据高新东区各片区的发展需求和交通特性,结合新一轮国土空间规划,优先考虑客流强度较高的区域。规划过程中重点分析线路沿线的现状人口密度、岗位密度及未来发展潜力,以确保线路建成后的客流强度达到预期,从而实现较高的社会效益和经济效益。同时,综合考虑云巴与其他公共交通方式的衔接与分工,注重与地铁及常规公交线路的网络化协同,避免竞争性重复布局,通过合理配置资源形成优势互补的交通格局。此外,还需结合城市用地现状、空间布局及地形条件,选择建设条件相对优越、工程实施可行性较高的线路走廊,以降低建设和运营成本,提高系统的整体运行效率。

2.2 最小曲线半径

云巴线路曲线半径设计对系统的运行稳定性和乘坐舒适性具有重要影响。《导轨式胶轮系统设计要
求》^[3]明确规定,线路的最小曲线半径一般不宜小于50 m。然而,在实际工程中,由于受到道路转弯处的用地限制及桥墩布置的约束,往往不可避免地出现小半径曲线。小半径曲线可能引发车辆运行中的曲率突变,导致冲击振动增加,显著影响乘坐舒适性。同时,计算分析表明,小半径曲线桥梁的支座拉力较大,需要采用抗拉支座并进行特殊设计,从而增加工程难度和成本。

现有运营和在建项目的统计数据表明,通过合理的支座布置措施,当曲线半径增大至100 m以上时,车辆-桥梁系统的横向性能指标表现良好(见表2)。因此,在导轨式胶轮系统设计中,正线曲线半径应尽量增大,一般情况下不宜小于100 m,仅在特殊困难条件下可适当减小。

济南市高新东区云巴项目线路共设103对曲线,总长度为13.45 km。其中102对曲线的半径均不小于100 m,仅1对曲线因受现场条件限制采用了80 m半径,而半径大于1 000 m的曲线占比高达34.5%(见表3)。通过控制小半径曲线数量和优化曲线半径设计,有效降低了冲击振动的影响,提高了车辆运行的平稳性和乘坐舒适性。

综上所述,在线路设计中,应综合考虑乘坐舒适

性、工程可行性和经济性,优先采用大曲线半径的设计方案。进一步研究应聚焦于小半径曲线的桥梁结构优化及车辆动态性能的改进,以推动导轨式胶轮系统在复杂条件下的应用和发展。

表 2 已运营和在建线路小半径统计情况

线路名称	标准跨度/ km	最小曲线 半径/m	车桥耦合 横向指标	支座设置及处理 措施
重庆璧山 1 号线	3×25 m	100	良好	双线间设置横梁, 三支座布置
	节点桥	600	良好	双线间设置横梁, 双支座布置
深圳坪山 1 号线	3×17 m	100	良好	支座与盖梁刚接
	节点桥	600	良好	支座与盖梁刚接
贵阳 T2 线	3×25 m	100	—	设置抗拉支座
	节点桥	100	—	设置抗拉支座

表 3 高新东区云巴项目平面曲线统计表

曲线半径范围/m	数量/对	长度/m	占曲线百分比/%
$0 < R < 100$	1	197.073	1.5
$100 \leq i < 200$	12	2 096.617	15.7
$200 \leq i < 300$	4	1 317.28	9.8
$300 \leq i < 500$	3	759.30	5.7
$500 \leq i < 1\,000$	19	4 434.36	33.1
$R \geq 1000$	64	4 648.26	34.5

2.3 最大坡度

雨雪天气对胶轮系统高架线路的安全运营影响显著,钢导轨梁表面易形成水膜和霜层,降低轮轨间的摩擦系数,增加列车打滑的风险。冰冻和降雪条件下,列车在大坡度线路上运行时,安全性问题尤为突出。按照《导轨式胶轮系统设计要求》^[3],正线区间和配线最大坡度不应大于 80%。但坡度越大,雨雪天气下发生打滑的概率也随之增高,特别是在北方地区,冬季冰冻和降雪天气频发,使运营风险进一步加剧。

表 4 高新东区云巴纵断面坡度统计表

坡度范围/%	坡段数/处	坡段长度/m	占全长百分比/%
$0 \leq i < 10$	65	24 471.72	80.11
$10 \leq i < 15$	4	2 271.10	7.43
$15 \leq i < 20$	2	720.00	2.36
$20 \leq i < 25$	3	1 156.77	3.78
$25 \leq i < 30$	4	1 666.00	5.45
$30 \leq i < 35$	1	260.50	0.85

为降低安全运营风险,云巴线路设计需结合区域气象条件,对纵断面坡度进行优化调整,尽可能减少线路的大坡度设计。以高新东区云巴项目为例,在设计过程中对纵断面进行了多轮次优化,实现了纵断面坡度的合理控制。表 4 为优化后的线路纵断面坡度统计结果,正线最大坡度为 30.5%,仅有 1 处,

小于 10‰ 的坡段占线路全长的比例为 80.11%。这一设计方案有效降低了因雨雪天气引发打滑的风险,为列车的安全运行提供了保障。

2.4 与大运量轨道交通换乘

换乘车站设计是云巴系统与大运量轨道交通高效衔接的关键,其目标是通过合理的空间布局 and 优化的功能设计,实现便捷、高效的乘客换乘体验。以济南高新东区云巴项目为例,结合实际情况,在换乘距离、换乘环境、换乘方式、综合效率 4 个方面进行了优化。

2.4.1 短距离换乘的优化

彭家庄站和唐冶站的设计重点是最大限度缩短换乘距离,提升通达性。

因受限于既有线路的布局条件,最终采用在彭家庄站天桥跨越道路实现非付费区换乘。尽管研究了付费区换乘改造方案,但因对既有站点功能影响较大未实施。最终方案在既有条件下尽可能减少了换乘步行距离,如图 1 所示。



图 1 彭家庄站换乘方案示意图

通过改建唐冶地铁站出入口,将换乘距离从原方案的 50 m 缩短至 6 m。优化后的设计显著提升了换乘效率,为乘客提供了更加便捷的出行体验,如图 2 所示。

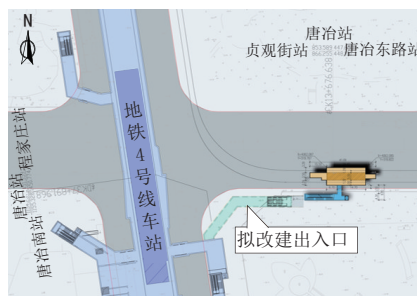


图 2 唐冶站出入口改建方案

2.4.2 换乘环境的提升

春博路站的设计重点在于优化换乘环境,以提升乘客的空间体验和视觉感受。在换乘通道设计中,采用艺术廊道的形式,通过人性化布局和艺术化装饰,为乘客打造功能与美感兼备的换乘空间,增强了整体环境的舒适性和吸引力,如图 3 所示。



图3 春博路站换乘示意图

2.4.3 创新性换乘方案的应用

职业学院站采用创新设计,通过调整站点高度,使云巴车站与8号线高架车站的天桥直接对接,将换乘距离缩短至约6 m,如图4所示。此方案在有效提升换乘效率的同时,合理利用既有设施,避免重复建设,体现了资源整合与高效利用的设计理念。

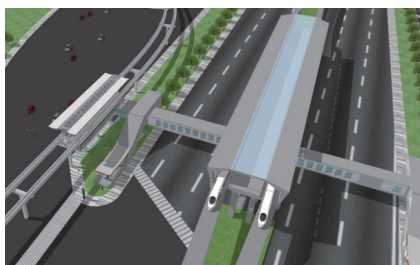


图4 职业学院站换乘示意图

2.4.4 综合换乘效率的提升

对于其他车站,由于施工条件限制,未进行大规模结构调整,设计重点转向优化导向标识与流线规划,尽量减少换乘不便,保障换乘效率。

2.5 敷设位置

高架线路敷设位置应充分考虑沿线现状、规划、交通和管线等多重因素,以济南高新东区云巴项目为例,其敷设位置选择遵循以下基本原则:(1)道路路中设置绿化带,线路首选沿路中绿化带敷设,以充分利用既有空间;(2)道路两侧为已成型居民住宅及敏感性建筑(如学校、医院等)时,线路主要沿路中敷设,减少对周边环境干扰;(3)道路一侧为工业用地或绿地,线路主要沿路侧绿化带敷设,以优化空间利用;(4)道路交通流量较大,路侧绿化带树木迁改困难时,线路主要沿侧分带敷设,以降低迁改和交通组织难度;(5)道路一侧为商业用地,为减少对道路的改造,线路主要沿侧分带敷设,实现功能需求与建设成本的平衡。上述原则在项目设计中充分体现了技术可行性与环境协调性的有机结合,为高架线路敷设提供了科学依据。

如表5所列,高新东区云巴项目区间充分考虑了沿线条件,合理选择敷设位置。

表5 高新东区云巴区间敷设位置

道路名称	敷设位置	控制因素
世纪大道	路南绿化带	道路北侧500 kV高压线及电力管沟
飞跃大道	路南侧分带	路中电力沟,两侧住宅
唐冶中路	路东侧分带	路中4号线,道路西侧商业用地
科创路	路北绿化带	道路北侧工业用地
春博路	路东绿化带	道路西侧涉密单位
庄科南路	路中绿化带	路中设绿化带
大正北路	路东绿化带	下穿8号线高架桥墩
春园路	路中绿化带	路中设绿化带

2.6 节点桥

按照国家相关文件^[2]对低运量轨道交通单公里造价必须控制在1亿元以下的要求,在项目设计过程中对线站位方案进行精细化设计,其中对区间造价影响最大的是节点桥。为了降低节点桥的比重,需要充分沟通各地交通部门,结合桥墩布置方案对每一个路口进行交通流量分析,确保在不影响交通的基础上,尽量减少节点桥。

以济南高新东区云巴项目为例,在施工图阶段结合交通和管线的情况对16处的桥跨进行了优化,节点桥总长度由初步设计的6.9 km缩减至5.63 km,减少了约1.27 km,占线路总长的比例从初步设计阶段的22.4%降至18.3%。该优化方案在满足功能性和安全性的同时,有效降低了节点桥工程量,为控制轨道交通建设成本提供了实践依据,进一步验证了精细化设计在造价控制中的重要作用。

2.7 车站规模

车站规模也是影响工程造价的一个重要因素,在设计过程中既要注重车站功能需求,还要尽可能降低造价。以下为济南高新东区云巴项目在车站设计中的具体优化措施。

2.7.1 车站型式

车站型式对造价具有直接影响。经比选,岛式车站和侧式车站造价差异不大,但选择时需综合考虑功能需求和景观。为了降低造价,在道路净空和景观允许的条件下,路侧车站优先选用两层车站。这种设计不仅节约了结构成本,还减少了对城市景观的影响。

2.7.2 设置扶梯

考虑到各类乘客的需求,车站均设置了无障碍电梯,但扶梯设置则需充分考虑乘客的多样化需求与实际客流情况。目前已运营的云巴线路仅西安高新线因客流量较大在部分车站设置扶梯。济南高新东区云巴项目为例,在设计过程中充分比选了车站

设置扶梯方案,根据客流数据模拟了车站在早晚高峰小时的通过能力,最终在5座车站设置扶梯,以实现功能与成本的有效平衡。

2.7.3 装配式车站

装配式车站在降低初期建设成本方面具有明显优势,尤其适用于客流需求较小且设备房间较少的车站。在济南高新东区云巴项目中,考虑到部分车站周边规划尚不完善,不能完全发挥车站的作用,项目选择在2座路侧侧式车站采用装配式方案。这些车站初期按照2编组规模建设,并预留远期扩建条件,以根据未来客流变化灵活调整车站规模。此举不仅提升了项目实施的灵活性,还有效节约了初期投资成本。

通过上述措施,济南高新东区云巴项目在车站设计中充分体现了功能需求与造价控制的平衡,为低运量轨道交通项目的经济性与实用性提供了参考范例。

2.8 停车场

停车场因其占地面积大、造价高,对整体单公里造价的影响尤为显著。因此,对停车场进行精细化设计是降低工程成本的关键举措。济南高新东区云巴项目停车场在设计各阶段经过多轮次优化,最终实现了显著的节地与降本效果,效果图如图5所示。具体优化措施如下。

2.8.1 停车场平面布置优化

贯通式布置方案与尽端式布置方案对车场面积影响较大,经比选分析,贯通式方案用地面积约 8.2 hm^2 ,尽端式方案用地面积约 6.2 hm^2 ,且两者功能相当。综合考虑避让文物遗址和降低造价的需求,最终推荐采用尽端式布置方案。

2.8.2 试车线优化

基于云巴特性,维护作业量较少,且夜间试车作业时间充裕,可直接利用正线完成试车需求。因此,在设计中取消了试车线设置,从而节约了建设成本和用地面积。

2.8.3 牵出线优化

云巴系统采用全自动运行模式,调车作业效率高,列车采用储能供电,无需通过牵出线调入检修线即可满足场内调车作业需求。因此,设计方案中取消了牵出线配置,进一步优化了车场布局。

2.8.4 附属建筑集约化

停车场在尽端式布置的基础上,将综合楼、杂品库和蓄电池间等附属建筑与运用检修库集约合并为

综合运检库,实现了附属建筑的集约化布局。这一优化使停车场占地面积进一步缩减为 4.97 hm^2 ,大幅减少了用地需求和建设成本。

2.8.5 大库采用分期建设方案

根据近期与远期的客流需求,初近期采用2编组列车,远期采用3编组列车。经研究,停车场大库按照近期方案2编组长度进行建设,预留远期扩建条件,可有效降低了初期建设投资压力。

2.8.6 合理利用地形坡度

由于车场选址现状地形较低,根据防洪要求,场坪需要填土 7 m ,造价较高。为降低填土工程量,设计中研究利用现状地形标高,采用架空方案设计,将大库设计为地上双层结构,一层为小汽车库和部分设备用房,二层为云巴轨道层。此方案充分利用地形条件,节约了土方工程成本,同时提升了土地利用效率。优化后的车场方案效果图如图5所示。



图5 优化后的车场方案效果图

3 结 语

随着城市对轨道交通的多样化需求,导轨式胶轮系统(云巴)因建设周期短、造价低、环保节能等优势,在满足小运量需求和优化城市交通网络方面具有重要意义。本文结合济南高新东区云巴项目实践,总结了关键规划要点与实施难点,为类似项目的推广提供了参考。

云巴的发展需技术完善、政策支持、市场驱动与公众认可协同推进。未来,应通过加强与大运量轨道交通及其他公共交通方式的联动,构建高效、互补的交通体系,同时结合智能化技术优化客流管理、调度和能耗控制,提升运营效率与服务水平。此外,推广过程中应因地制宜,制定适应不同城市条件的个性化方案。

总之,云巴作为一种低运量交通系统,在助力城市交通拥堵治理和绿色发展方面潜力巨大。通过理论深化、实践总结和技术创新,其在未来城市交通体系中的作用将更加显著。

(下转第397页)