

中低运量轨道交通系统特征与适应性分析

栗嘉炜

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要:首先分析国内现有主流中低运量轨道交通制式系统特征,并从运量、爬坡能力、工程投资水平和路权等方面进行对比;总结国内既有中低运量轨道交通运营经验,分析中低运量轨道交通对所在城市交通的影响与适应性;最后将中低运量轨道交通按照多种不同场景进行适应性分析,为未来各城市实施中低运量轨道交通提供参考依据。

关键词:城市轨道交通;中低运量;适应性分析;系统特征;特征比较

中图分类号:U239.5

文献标志码:A

文章编号:2095-2945(2023)04-0098-05

Abstract: Firstly, we analyze the characteristics of existing domestic mainstream low and medium capacity rail transit system, and compare them in terms of capacity, climbing capacity, engineering investment level and right-of-way; summarize the existing domestic low and medium capacity rail transit operation experience, and analyze the impact and adaptability of low and medium capacity rail transit on the traffic of the city where it is located; finally, we analyze the adaptability of low and medium capacity rail transit according to many different scenarios, and provide reference basis for the implementation of low and medium capacity rail transit in various cities in the future.

Keywords: urban Rail Transit; low and medium capacity; adaptability analysis; system characteristics; characteristic comparison

随着城市化进程不断向前发展、国内各城市机动化发展水平不断提升、机动车保有量不断提高,居民出行需求增大与城市道路资源限制之间的矛盾开始浮现,中心城区交通拥堵情况日益突出,许多城市迫切需要轨道交通线路来提高城市整体的公共交通运行水平、依靠轨道交通来提升城市整体的精神风貌。

与之相对的是国内大多数中小城市城区人口规模、地区生产总值等相关规模并不能满足申报地铁与轻轨的建设^[1],且在這些地区运营地铁、轻轨等形式的轨道交通也会造成列车运力浪费、资源浪费。该背景下,采用一些相对容易实施的中低运量轨道交通成为了许多城市的选择。本文通过对不同类型中低运量轨道交通的特征进行分析,总结现有国内中低运量轨道交通运营经验,探讨在我国中低运量轨道交通使用的适应情景。

1 中低运量轨道交通分类与特征

现阶段我国所拥有的中低运量轨道交通类型多、样式全,它们在建设周期、造价、运行速度及运量等多

项指标上有着差异。大致可以分为以下几种类型。

1.1 有轨电车

有轨电车是一种历史悠久的轨道交通制式,广泛应用于瑞士、法国等诸多国家。其通常由架空接触网供电,部分新式有轨电车配备超级电容可自牵引运行,列车沿地面轨道行驶。部分有轨电车与其他机动车辆混行,部分区间封闭拥有独立路权、与机动车道分离。

有轨电车其混合路权的特性使其运营灵活性较大;其地面运行的特征也往往被用于一些风景较好、道路资源充足的区域。有轨电车运能相较传统公交大,但旅行速度和准点性较地铁、轻轨等形式的轨道交通略差。

1.2 单轨

单轨是中运量轨道交通中运量较大的一种,列车与单一特制轨道梁组合成一体运行。按照单轨的承重与运行形式,又可以细分为跨座式单轨、悬挂式单轨 2 种。

1)跨座式单轨。跨座式单轨车辆通过橡胶车轮跨骑于轨道梁,其相比于地铁列车拥有更好的转向与爬

基金项目:中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目(2022KY12ZD(DWRH)-01,2022KY11ZD(CSKF)-01)

第一作者简介:栗嘉炜(1996-),男,硕士,助理工程师。研究方向为轨道交通线网规划、建设规划理论与技术、轨道交通客流预测。

坡性能;跨座式单轨一般以高架敷设为主,相比于地铁、有轨电车等制式能够更好适应山地、江河等地形。跨座式单轨通常较其他中低运量轨道交通审批更复杂、投资更高。

2)悬挂式单轨。悬挂式单轨的车辆悬挂在轨道梁上,车辆位于轨道下方。悬挂式拥有较好的转向性能、爬坡性能,建设难度相对较低、占地面积相对较小,但站台建造困难、舒适度欠佳,出现紧急状况时客流疏散、紧急救援较为困难^[2]。目前我国悬挂式单轨运营经验较少。

1.3 智轨

智能轨道快运系统(智轨)是一种新型制式的中运量轨道交通,其无实体轨道,车辆通过识别固定地面标志线轨道循迹运行^[3]。该制式对既有路面的改造小、运行灵活,建设周期短。由于没有实体轨道,实施较有轨电车更容易、前期投入成本更低。智轨列车路权类似有轨电车,但区间内一般没有与其他机动车道的物理阻隔。采用首末站充电+超级电容的模式运行,无接触网;在特殊情况下可以驶离原有轨道,较有轨电车更为灵活。

智轨列车可多辆编组,较传统公交车辆运量增加;智能运行的模式可以减少其对人力成本的投入;其车辆较传统公交、BRT 都有较高的成本,前期投入会更大,但运营寿命比公交车辆更久^[4]。

1.4 云巴

云巴是比亚迪公司推出的一款小运量胶轮有轨电车,属于现代有轨电车的一种新系统。云巴敷设以高架为主,承重梁和走行轨道为一体化“梁轨合一”;拥有独立路权,可无人驾驶;列车由车载电池组驱动,无需单独铺设接触网。整体投入低、建设周期短,相比其他类型轨道交通更易实施^[5]。

1.5 旅游小火车

国内既有的旅游小火车主要以景区内的短途线路为主。车辆一般因地制宜选择一些成本较低、载客较小的车型,设计速度一般低于 20 km/h 以实现“快进慢游”。旅游小火车一般以景区内特种设备等形式引入,运能较低、投资较低、审批较易。

1.6 齿轨

齿轨轨道通过在钢轨之间设置齿条、列车下方设置齿轮盘,靠齿轮盘的咬合力来克服一般轨道交通爬

坡能力不足的缺点,爬坡能力可达 480‰^[6],是其他制式的 6~8 倍;其爬坡强悍,同时对雨雪等恶劣气候适应性更强。由于齿条限制,齿轨铁路一般速度低,因此更适用于对速度要求不高的旅游场景。

中低运量轨道交通系统在运量、速度、投资等各方面均有差异,规划者在决策选型上应充分比较各制式的优劣,因地制宜的选择合适的轨道交通制式。各中低运量轨道交通系统特征见表 1。

通过对各中低运量轨道交通比较,可以看出城市中低运量轨道交通普遍具有较地铁车型成本低、较公交车辆运量大的特点;旅游小火车具有成本低、审批简单但适用范围较窄的特点。

2 国内既有中低运量轨道交通实施现状

目前国内城市轨道交通整体上以地铁、轻轨线路为主,中低运量轨道交通仍处于发展阶段;国内已有一些城市进行了中低运量轨道交通的探索,制式较丰富。

2.1 有轨电车

广州海珠有轨电车(图 1)是广州市第一条有轨电车线路,全长 7.7 km、共设 11 个站。线路全线沿珠江边而行,沿线途径景点众多,包括广州塔、猎德大桥、琶洲塔等。线路区间全封闭,且大部分与机动车道有绿带阻隔;部分路口与车辆混行;车辆 4 节编组,年客运量约 350 万人次,运行图兑现率与正点率均超过 99.9%,准点率较好。线路实施灵活的行车组织方案,包括全日大小交路、高峰期小交路、重大活动临时交路等,极大的丰富了运营组织、满足了各类出行需求。海珠有轨电车一方面满足了各地游客的珠江观光旅游需求,同时也满足了琶洲地区的通勤服务,是一条兼顾观光与通勤功能的有轨电车线路。

2.2 单轨

2.2.1 重庆轨道交通 2 号线

重庆轨道交通 2 号线(图 2)为跨座式单轨系统,是国内第一条跨座式单轨系统^[7],列车使用 4/6/8 节编组混跑,线路全长 31.36 km,全日客流量日均约 29 万人次,最高约 44 万人次。

通过使用单轨系统,2 号线克服了重庆诸多地形条件限制因素,有效地缓解了主城区山地江河条件下的交通压力,对促进城市经济、提高社会效益等有着重要意义。

表 1 中低运量轨道交通系统特征比较

IJ	K 2 /6 L I M G h ⁻¹ 8	t} N (/6 km G h ⁻¹ 8	O = P . 6 Q 8	RS	JJ TU%V /6 WX G km ⁻¹ 8	YHZ: /[Vj^_
`abc	0.6V 1.0	70	60	deRS	1V 2	1V 2	fghi _ jkKPlmn copqR5rstRS
uvJwa	1.0V 3.0	80	80	stRS	1.5V 2.5	2	x _ yz X lx{c { p KP}I~• O K 2 I Jlo
!" Jwa	0.5V 2.0	70	80	stRS	1.5V 2.5	1V 2	D J Z:l # kO = P . I 5 \$ q %&'() (lop * 1 + C K ,-. I /
0 a	0.5V 1.5	70	60	deRS	0.5	0.5V 1	r 12 a 3 k 45) (I O kYHZ: # pqc 6 \$ 7 T 8 lokrstRS
9:	0.4V 1.0	80	60	stRS	0.9V 1.2	1.5	YH ; wk < x u k \$ 7 O k 'stRSpqK 2 I O k = y (I >
?@ u A c	0.1V 0.5	40	60	stRS	0.1V 0.2	0.5	B TU} C tO k DE; wpq F y GHJ?@\$ = y X I > kN (O
?@K a	0.1V 0.3	30	480	stRS	0.2V 0.3	0.5	O=X P 5 kx _ yz k \$ 7 T 8 I ?@ u A c L } pqy GMN I O

2.3 智轨

智轨列车系统于 2018 年首次运行后,目前已在株洲、哈尔滨、宜宾和西安等多个城市落地实际运行。

2.3.1 宜宾智轨 T1 线

宜宾智轨 T1 线是中低运量轨道交通在中小城市的实践,线路为全国首条商业运营的智轨线路,全长 17.7 km,总投资 11.2 亿元。列车为 3 节编组,车站按 5 节编组预留能力,日均客流约 3.5 人次。线路承担了宜宾市城市核心区公共交通骨干功能,线路与高铁宜宾西站接驳,方便了城市对外对内出行接驳;智轨提高了宜宾居民出行的舒适度、较普通公交提高了客运量。

2.3.2 西咸智轨 1 号线

西咸新区智轨 1 号线位于陕西西安市与咸阳市,全长 11.9 km,设站 9 座,先期开通 6.5 km 共 4 座车站。目前 1 号线已开通试运营。

西咸新区智轨的建设实现了新区内轨道交通多层次、多制式、多元化覆盖,对于推进新城区域的发展、生活品质建设,推动城市公共交通出行等都有着重要意义。

2.4 云巴

2.4.1 重庆璧山云巴

璧山云巴(图 3)位于重庆市中心城区外围近郊璧山区,全长 15.4 km,共设车站 15 座,全程为高架车站、独立路权运行。线路与高铁璧山站、重庆轨道交通 1 号线璧山站衔接,方便了重庆璧山区居民的出行。璧山云巴作为小运量轨道交通,有效解决了近郊璧山区的居民短途出行需求;通过与其他多种制式轨道交通的衔

图 1 海珠有轨电车

图 2 重庆轨道交通 2 号线

2.2.2 光谷空轨

武汉光谷空轨是我国首列运用于商业运营的悬挂式空轨列车。线路规划全长 26.7 km,一期工程 10.5 km,设站 6 座,目前线路已实现全线轨通。光谷空轨悬挂式的运行方式增强了其观光功能,实现通勤观光一体化;线路采用了多项安全保障技术、断电自牵引技术等,保障了紧急情况下的乘客安全快速疏散。

接换乘,拓宽了璧山居民出行范围;支撑了重庆“西进”发展趋势,加强了主城区与璧山区联系。

2.4.2 深圳坪山云巴

深圳坪山云巴 1 号线于 2022 年末开通,一期工程全长 8.5 km,共设 11 座车站,采用 4 节编组列车运行。线路填补了深圳小运量轨道交通系统的空白,为深圳向坪山区“东进”提供了支持。云巴消除了区域轨道交通最后 1 km 盲区,通过与其他轨道交通制式衔接换乘畅通了片区内交通出行。

2.5 旅游小火车

东部华侨城小火车(图 4)是一条景区旅游线路,全长 5.2 km,时速约 6.5 km/h,全程游览约 50 min。

图 3 重庆璧山云巴

东部华侨城旅游小火车旺季票 50 元,是典型的以经济效益为主的景区线路。景区依靠低投资的小火车,提高了景区质量、吸引了更多游客,带动了更多消费。

2.6 齿轨

目前我国齿轨线路并不普及。2022 年新疆重大项目建设名单中储备项目将喀纳斯山地旅游齿轨专线建设项目纳入,预计规模 79.4 km,共设 10 个车站。阿勒泰地区山地多、雪期长,齿轨线路可以很好的满足地形与气候适应需求。

图 4 深圳东部华侨城小火车

3 中低运量轨道交通适应情景浅析

在大城市内,轨道交通整体采用单一地铁制式会造成轨道交通层次不明晰、部分区域运能浪费;在中小城市内,城市又因经济、政策等各方面原因难以开展地

铁项目。因此,为提高轨道交通多制式协调融合发展,针对不同城市客流需求、城市地形等特点,可以将中低运量轨道交通的适应情景大致分为 4 类。

3.1 大中型城市轨道交通骨干线

大中型城市线网相对成熟,在引入新型制式轨道交通作为骨干线时不宜引入运量过低、速度过慢的低运量轨道交通。跨座式单轨相较其他几种中低运量轨道交通制式,运量有着明显的优势;同时相对于地铁制式又有着更好的地形适应性、相对更宽容的最小转弯半径等,因此其更适于在地形条件受限制的区域承担中大城市的线网骨干功能线路。

3.2 大中型城市轨道交通辅助线

大中型城市轨道交通发展相对成熟,但对于城市最后一公里通达、区域内延伸加密、城市郊区新城公共交通发展等仍有一定的欠缺。通过实施中低运量轨道交通,可以将线路深入城市的每一根“毛细血管”,带动郊区区域组团发展,增加城市面貌。制式上,有轨电车、智轨列车有着更好的城市形象、更高的运量、更舒适的出行体验,更适用于郊区新城区域提升公共交通服务质量;其中智轨由于建设周期更短、改造更容易,未来逐渐发展成熟后将成为有轨电车的有力竞争对手。对于建成区道路条件狭窄情况,可以利用占地面积小、全程高架的云巴、空轨制式深入城区内部,接驳城市最后一公里出行。

3.3 中小型城市轨道交通骨干线

中小城市由于经济、人口指标限制,现阶段难以实施大运量制式系统;但与之相对的是城市道路能力日渐紧张、客流走廊上机动车拥堵严重、通勤通学受阻。因此可以实施智轨、云巴等制式的轨道交通为中小城市的骨干线以形成破局,既可以做到更低投资、更快建设、更易审批,同时也可以推动公共交通发展、利用轨道交通带动沿线土地升值等。智轨有着高舒适度、低噪音等特点,适用于城市道路条件宽阔、噪音控制要求较高的区域;云巴有着较低的成本投入,适用于一些预算较低但迫切需要引入轨道交通的中小城市。

3.4 城市及景区旅游线路

城市旅游线路可以按照功能可以分为纯旅游线路、兼顾通勤的旅游轨道交通线路。兼顾通勤的旅游轨道交通线路可以选取运量较大的有轨电车、智轨等制式。这些制式虽然有着相较旅游小火车更严格的审批流程,但社会效益、景区面貌提升效果更好。

(下转 106 页)

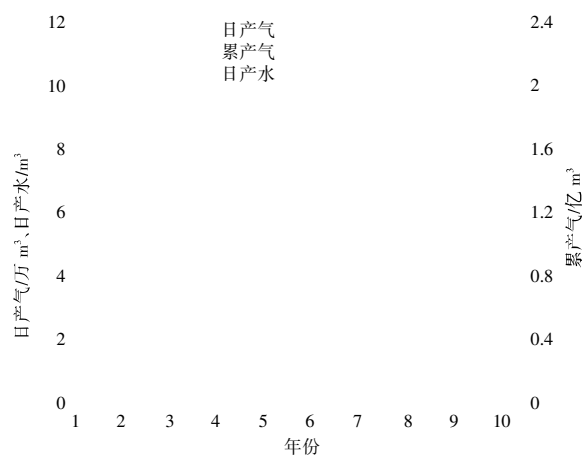


图8 W4井()方*开6指标预测结果

2) 综合考虑储层预测成果及数值模拟方案结果,建议 W4 井井位水平段平面上部署在 F8b 层高点附近、纵向上布在 F8b 层中上部,建议压裂级数 9 级,裂缝导流能力 5D·cm,建议缝高不高于 40m,半缝长 150m,并在此基础上给出最优化方案。

3)建议利用邻近开发井对 W4 井压裂裂缝进行微地震监测。

参考文献:

[1] 杨胜来,魏俊之.油层物理学[M].北京:石油工业出版社,2004.

[2] 杨正明,郭和坤,刘学伟,等.特低—超低渗透油气藏特色实验技术[M].北京:石油工业出版社,2012.

[3] 戴强,段永刚,焦成.低渗气藏储层应力敏感性实验研究[J].海洋石油,2007(2):79-82.

[4] 明政,刘! .低孔低渗气藏水平井压裂裂缝参数优化[J].中国石油和化工标准与质量,2013,33(22):141.

[5] 马新" ,#\$ 玲,张守良.低渗气藏水平井压裂裂缝参数优化[J].天然气工业,2005(9):61-63.

[6] 陈%& ,汤勇,刘世' ,等.低渗致密气藏水平井分段压裂优化研究[J].特种油气藏,2012,19(6):85-87.

[7] 吴(来,刘月田.基于 PEBI 网格加密的水平井分段压裂模拟[J].大庆石油学院学报,2010,34(6):53-57.

[8] 张汝生,孙志) ,李* 田,等.黑油模型和压裂设计软件相结合预测水平井分段压裂产能[J].石油钻采工艺,2011,33(6):70-73.

[9] 段++ ,李志龙,王, ,等.苏 53 区块致密砂岩气藏水平井分段压裂优化研究[J].复杂油气藏,2015,8(2):79-83.

[10] 张小- ,吴建发,冯. ,等/ 岩气藏水平井分段压裂渗流特征数值模拟[J].天然气工业,2013,33(3):47-52.

(上接 101 页)

景区内的纯旅游线路,速度要求低、舒适度要求度不高,但对投资预算有着限制,可选择投入低、回报快的旅游小火车;地形、气候条件复杂的景区可以选择齿轨列车,为景区提质引流、并快速实现总投资的回收。

4 结束语

本文分析了多种常见中低运量轨道交通制式的基本特征,总结了国内既有中低运量轨道交通运营现有经验;在此基础上,分析了国内中低运量轨道交通实施的具体情景适应性,为未来大、中、小各类城市实施中低运量轨道交通提供参考依据。

参考文献:

[1] 黄天明,余晓0 ,王晶.我国中小城市发展智能轨道快运系统

探讨[J].综合运输,2021,43(5):16-23,29.

[2] 张华龙.悬挂式单轨线路设计研究[J].现代城市轨道交通,2022(5):7-13.

[3] 雷强,谢0 平.智能轨道快运系统运输能力研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(8):80-83.

[4] 梁1 华.智轨系统的市场定位与适用性研究[J].低碳世界,2021,11(11):117-119.

[5] 余超2 .璧山云巴:发力小运量轨道交通,探索通勤+旅游的轨道发展之路 专3 比亚迪集团4 总5 任林[J].城市轨道交通,2022(11):42-43.

[6] 678 ,李9 ,丁(& ,等.齿轨铁路发展及应用现状综述[J].铁道标准设计,2019,63(12):37-43.

[7] 魏家: ,董;< ,张= 宁.跨座式单轨交通发展现状研究及方向展> [J].铁道勘察,2022,48(1):52-58.