

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.05.013

长春轻轨发展历程及特点

曹国利, 崔 凯, 李 莉, 刘卫民, 刘会军

(长春市轨道交通集团有限公司, 长春 130000)

摘要: 长春轻轨被业内人士普遍认为是典型的轻轨系统, 也是今后可以广泛推广的轻轨制式。长春轨道交通轻轨制式(以下简称轻轨)发展较早, 目前已经运营 61.5 km, 建设运营经验较为丰富。其中 3 号线是国内首条运营轻轨线路, 已有 17 年历史。随着 3、4、8 号线最终建设完成, 里程将达 110 km。2018 年 7 月《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)发布, 轻轨再次进入许多城市的考虑范围。长春轻轨各系统的建设及运营经验可以作为重要的经验借鉴和参照标准。针对长春典型轻轨系统, 分析其发展历程、规划建设特点及设计创新与技术特点。秉承“量力而行、有序发展”的原则, 长春选择了先轻轨后地铁的双网融合、主辅结合的建设模式。实践表明, 建设之初选择运量较大、投资较低、外形美观大方、节能环保的典型轻轨系统, 符合长春市经济实力及发展需求, 有利于规划线网的快速形成。这种发展模式也对与长春经济实力大体相当的一些大、中城市发展轨道交通具有借鉴意义。

关键词: 轻轨制式; 发展历程; 规划建设特点; 设计创新; 技术特点

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2020)05-0073-07

Developmental History and Characteristics of Changchun Light Rail Transit

CAO Guoli, CUI Kai, LI Li, LIU Weiming, LIU Huijun

(Changchun Railway Traffic Group Co., Ltd., Changchun 130000)

Abstract: Changchun Light Rail Transit is widely accepted by the industry as a typical light rail system, and it is also a light rail transit system that can be widely used in the future. Changchun Light Rail Transit System (referred to as “Light Rail Transit”) is the earliest domestically developed light rail transit system in China. It has already been operated along 61.5 km and is the most extensively used light rail transit system in construction and operation. Line 3 is the first domestic light rail transit line to be operated and has been in use for 17 years. With the final construction of Lines 3, 4, and 8, the mileage will reach 110 km. In July 2018, the *Opinions of the general office of the state council on further strengthening the management of urban rail transit planning and construction* coded (2018) No. 52 was issued by the State Council, and the use of light rail transit across several cities was once again considered. The construction and operation experience obtained for the Changchun Light Rail Transit system can be applied as an essential experience and reference standard. This paper presents an analysis of its development history, planning and construction characteristics, design innovation, and technical characteristics of the typical light rail transit system in Changchun. In line with the principle of “measuring strength and orderly development,” Changchun chose the construction mode of dual network integration and the main and auxiliary integration of the subway after the development of its first light rail transit. The typical light rail transit system with the large transportation volume, low investment costs, beautiful appearance, energy savings, and environmental protection at the commencement of construction satisfies the economic strength and developmental needs of Changchun City, which is conducive for the rapid formation of the planned network. This developmental model could also serve as a reference for developing urban rail transit in large- and medium-sized cities that are almost equivalent to Changchun’s economic strength.

Keywords: light rail transit system; developmental history; planning and construction features; design innovation; technical characteristics

收稿日期: 2020-06-15 修回日期: 2020-07-08

第一作者: 曹国利, 男, 教授级高级工程师, 从事城市轨道交通建设和运营管理工作, 1533102595@qq.com

项目名称: 长春轨道交通 3、4、8 号线

1 长春轻轨发展历程

1939年,《大新京都市计划》规划建设地铁,长春成为中国第一个有地铁规划的城市,自此长春轨道交通发展拉开序幕。1941年11月1日,长春有轨电车开通。进入20世纪80年代,长春市政府未雨绸缪,清晰地意识到城市未来发展要有骨干的客运方式作为城市交通的主体,开始着手以有轨电车升级改造为主要目标的轻轨建设准备工作。1983年国家“四部一委”(建设部、交通部、机械部、公安部、国家计委)在长春召开“全国城市交通发展战略研讨会”,会上首次提出了轻轨的概念,并确定长春为试点城市之一,正式拉开长春轻轨建设筹建的序幕。1995年,长春结合城市总体规划修编,开展了建国后长春市轨道交通第一版线网规划。1999年9月,国务院正式批准长春轻轨工程立项。2000年5月27日,长春轨道交通3号线一期工程试验段开工建设,并于2001年12月28日试车成功,填补了中国内地无轻轨交通的历史空白,掀开了中国内地轻轨交通发展史的第一页。2002年10月30日该线路投入试运营,至此长春市城市交通进入拥有现代化交通方式的崭新时代^[1-2]。

依据规划先行、高位统筹的思想,长春轨道交通始终秉承“量力而行、有序发展”的理念。长春市先轻轨后地铁的建设模式,在国内独树一帜,充分体现出城市对于轨道交通作用的深刻理解,以及实事求是、量力而行的务实建设策略。2002年3号线(轻轨制式)开通运营,2011年4号线(轻轨制式)、2017年1号线(地铁制式)、2018年2号线(地铁制式)及8号线(轻轨制式)陆续开通。至2018年底,长春轨道交通已运营线路达5条,运营总里程达到100.1 km,规划的骨干线网基本形成,2019年随着两种制式的轨道交通互联互通、同网同价,长春市轨道交通进入到网络化运营的新阶段。

2 长春轻轨规划特点

2.1 多模式、多层次线网构架

长春市轨道交通线网规划,建国以后共编制5版。第1版于1996年结合总体规划修编,形成了一环三线的线网,解决有无问题。2002年编制第2版,是长春市历史上真正起到指导意义的一版线网规划,由国内知名设计机构领衔,依据城市人口规模、空间结构、用地布局、就业岗位分布等因素,结合客流预测,运用科学系统的方法进行规划。规划确定了核心骨干线

路,为之后3版规划和三期建设规划打下了良好的基础,目前已经运营的轨道交通1、2、3、4号线是依据这版规划建设完成的,在长春市轨道交通发展历史上起到重要的指导作用。在2002版规划中,根据城市的发展需求,明确了5条线路的功能定位。骨干线由1、2、5号线组成,覆盖了城市主要客运走廊和重要发展轴线,3、4号线形成了环线的形态,起到环线的作用,最终形成了“三主两辅”的线网构架,确定了地铁与轻轨两种制式结合的双模式轨道交通线网,这在当时国内线网规划中是比较超前的。目前多模式、多层次的线网已经成为各大城市的普遍做法,长春市是较早的践行者。

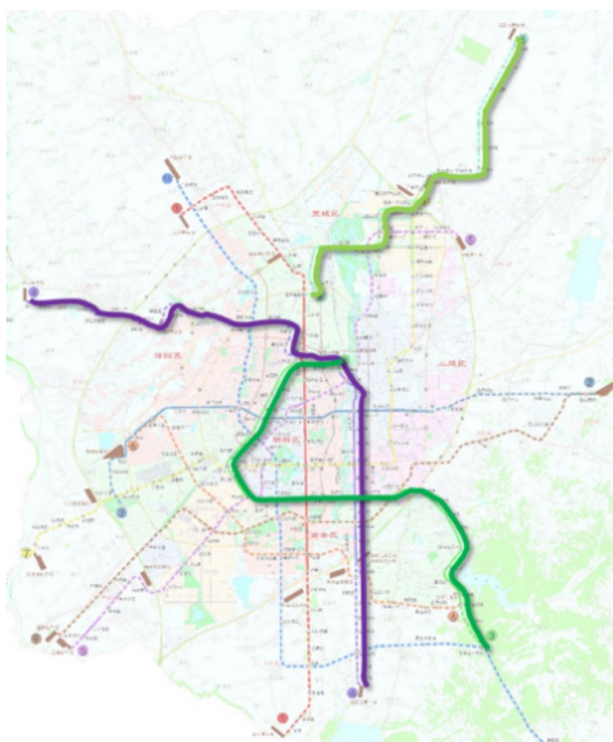


图1 长春轻轨线网

Fig. 1 Network of Changchun light rail transit

2.2 落实 TOD 理念

长春市的城市规划一直强调分散组团式发展的理念,远景规划将形成“一廊、一脉、一带、四城”的城市空间结构。外围组团要做到职居平衡、综合发展,以减少不必要的跨区出行,减轻核心区的交通压力。目前的线网规划460 km,2条市域快线、5条地铁线路、3条轻轨线路,共同支撑起未来城市综合发展的需要。3号线二期工程进入到长春市净月旅游开发区,2006年投入运营,对东南区域净月组团的快速发展起到了积极的带动促进作用,轨道交通车站周边的开发

建设基本完成,形成了商业、商务、学校、居住、公园等多种属性结合的用地形态,很好地发挥出轨道交通的核心作用^[3]。轨道交通 8 号线是连接主城区和国家级新区的重要交通走廊,在城市新区发展进程中起到了很好的引领作用,随着 8 号线的建设和运营通车,沿线的开发建设如雨后春笋,轨道交通影响区域的土地出让价格屡创新高,对于长春新区的发展起到了很好的促进支撑作用。

3 长春轻轨建设特点

3.1 先轻轨后地铁建设模式

只有形成规模效应才能真正发挥轨道交通的核心骨干作用,2000 年长春市的 GDP 和财政收入对比国内开始建设轨道交通的其他城市有较大差距。如果开始修建地铁,将承受巨大的财政压力,距离线路运营的目标差距很大。而轻轨线路造价可控制在 1~3 亿元/km,这是长春当时财力基本可以承受的^[4]。本着“量力而行、有序发展”的经济性原则,长春选择了先建轻轨、后建地铁的建设发展策略。2018 年轨道交通 2 号线、8 号线相继投入运营,核心骨干线基本形成,网络化系统初具规模,运营里程超过 100 km。

长春这种建设的模式在国内为数不多,有着很好的示范效应,率先践行了 52 号文倡导的“量力而行、有序推进”的基本原则,这对于经济实力有限、交通压力较为突出的二、三线城市有着很好的借鉴意义^[5]。

3.2 建设标准

长春轨道交通轻轨制式的建设本着“因地制宜、节约成本”的原则,不断探索轻轨系统制式的建设标准,每一期工程在工程造价方面均为同期国内最低。2002 年 3 号线一期工程投入试运营,线路以地面为主,设 8 处平交路口,造价约 1 亿元/km,二期工程以地面与高架敷设为主,线路设 3 处平交路口,造价为 1.4 亿元/km。2011 年 4 号线开通运营,线路为高架与地下敷设方式,全线无平交路口,造价约为 3 亿元/km。2018 年 8 号线一期工程开通运营,全线采用高架型式,无平交路口,造价约为 2.8 亿元/km。长春轻轨的工程造价约为地铁的 1/3,建设周期为地铁的一半,相比其他中运量方式在工程造价和工期方面也具备一定的优势。

3.3 创新点

3.3.1 U 型梁的应用

长春轨道交通 8 号线一期工程高架桥首次在东北高寒地区采用开口薄壁 U 型梁建设轨道交通高架桥

梁,接触网立柱立于中间。U 型梁具有景观效果新颖、降噪效果明显的优点;其两侧主梁可防止脱轨车辆倾覆下落,保证行车安全;U 型梁的受力架构本身就是行车和设备的功能架,降低了运营维护成本;通过创新设计,还实现了梁上运梁、架桥机架设,减少了工程建设对道路交通的影响^[6]。

3.3.2 高架站无障碍设计和地源热泵自采暖系统

长春轨道交通 8 号线一期工程高架站建筑内均设置无障碍设施。在车站入口台阶处设置无障碍坡道,每个出入口楼梯内楼梯处设置无障碍升降平台,同时公共区地面均设置无障碍盲道,为方便后期运营维护及乘客使用,在地面附属用房内设置公共卫生间,并配套无障碍卫生间,保证车站公共区内无障碍使用及通行全覆盖。

作为轻轨线路,冬季乘车时,站厅层四处进风,为提升乘客乘车舒适度,8 号线车站站厅增设了地源热泵自采暖系统,在站台设置了防寒罩棚。地源热泵采暖系统在高铁车站及机场项目中得到大量应用,而在城市轨道交通项目中是首次应用。通过将地下土壤中热量或者冷量转移到建筑物内,实现站厅内冬暖夏凉;而站台上的防寒罩棚使乘客在冬季候车时不再饱受寒冷之苦。

3.3.3 轻轨车站景观与环境融合协调

长春轻轨车站多为地面站和高架站,与其周边环境的协调显得尤为重要。长春轻轨车站从规划建设之初打造的一 p[站一景,到后来的一线一景,力求在满足轻轨车站使用功能的前提下,尽可能与车站周边的城市环境相呼应,将轻轨车站和区间塑造成长春城市独特的人文景观和亮丽的风景线。

4 长春轻轨技术特点

4.1 轻轨系统制式定义与技术标准的反思

轻轨概念自 20 世纪 80 年代初引入中国,业内人士开始对轻轨展开了深入研究,国家相关部委也出台了重要政策鼓励轻轨发展。国家“九五”计划中把轻轨的关键技术列为重点攻关项目,长春轨道交通 3 号线作为国内首条轻轨线路于 2002 年投入试运营。但是在随后的十几年内,各城市轨道交通建设均以地铁为主,截至 2018 年年底,国内城市轨道交通线路中轻轨里程占比不足 5%。2018 年 7 月,《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 号发布,由于建设门槛的提高,一些城市将以轻轨系统建设为主导,轻轨再次成为许多城市

需要考虑的轨道交通制式。由于 52 号文只是提及地铁、轻轨的申报条件,而城市轨道交通的其他方式,尤其是中运量方式除轻轨系统以外的单轨系统、磁浮系统、自动导向轨道系统等,缺少明确的概念定义以及申报的要求,出现了轻轨概念广义化以及轻轨概念单轨化的情况。目前国内很多专家学者都认为应尽快出台国家层面对发展轻轨系统的指导意见^[7-8]。中国城市轨道交通协会常务副会长周晓勤也提出,应从规划层面明确轻轨在线网中的功能定位,从设计、建设、运营管理、装备制造等层面明确轻轨系统特征,如线路敷设方式、站台形式特点、运营组织要求、车辆等技术装备系统制式等。

目前,按照《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114-2007)提出的轻轨系统的概念是中运量的轨道交通系统,采用钢轮钢轨体系,标准轨距为 1 435 mm,主要在城市地面或高架桥上运行,线路采用地面专用轨道或高架轨道,遇繁华街区也可进入地下或与地铁接轨。运能为 1 万~3 万人次/h,平均运行速度为 25~35 km/h。这种轻轨系统敷设方式灵活,编组灵活,交路灵活,而且钢轮钢轨技术成熟度最高,摩擦阻力小,适应范围广,尤其是在高纬度冰雪期较长的区域,运行稳定可靠。

长春轻轨目前有 3 条运营线路,3、4、8 号线均符合轻轨的所有定义,是目前国内公认的轻轨制式轨道交通方式的代表线路。对未来轻轨概念以及技术标准的再确定有着良好的示范效应。从 3 号线专用路权、地面结合高架、地下,由局部平交到 4、8 号线完全封闭、完全高架享有独立路权,长春市在不断地对轻轨的建设、运营技术标准进行优化提升。2018 年运营通车的轨道交通 8 号线,是标准传统意义轻轨系统的典

型代表,体现出目前国内轻轨制式建设运营的最高技术水平。

4.2 车辆技术特点

长春轨道交通 3 号线是国内首条轻轨线路,当时国内并无可参照车辆也无轻轨车辆的技术标准。长春轨道公司与设计院以及车辆制造厂共同研究论证,根据 3 号线的线路走向、敷设方式以及经济指标等因素,最终确定采用 70%低地板的六轴铰接车,该车成为《城市轻轨交通铰接车辆通用技术条件》(GB/T 23431—2009)的原型车。

长春轻轨车辆采用 70%低地板铰接车,从车体结构、内部装饰到转向架系统均为自主设计研发;符合中国国情和城市轨道发展方向,车厢宽敞明亮,乘坐舒服;适应多种敷设方式,地面、地下及高架敷设均有良好的适应性,便于成网运营。为了应对高寒地区车辆的正常运行,长春轻轨车辆配置大功率的电加热采暖装置、高性能的防冻设计;车辆密封橡胶材料采用耐低温专用橡胶材料;液压制动也比较适合北方寒冷气候特点,具有结构紧凑、响应迅速等优点。

车辆的技术特点如下^[6]。

1) 模块化编组、铰接式车体。车辆长度可灵活调节也可联挂运行,既可保证小转弯半径通过能力,同时可根据客流灵活选取模块数。2003—2010 年,3 号线一期、二期工程均采购 3 模块编组车辆合计 37 列。2010—2018 年,3 号线二期、3 号线东延、4 号线一期工程增购 6 模块编组车辆合计 54 列,同时既有 3 模块车辆陆续进行重联改造,如图 2 所示。未来随着网络化运营,客流不断增长,4 号线按规划将采用 9 模块车辆,以扩大载客量。3 号线通过扩能改造的综合研究,也存在改成 9 模块的可能性。



图 2 铰接车辆扩编

Fig. 2 Vehicle expansion

2) 低地板。地板高度采用 70%低地板,利于低站台(人行道)乘客的上下车,也有利于区间车辆故障停车时乘客下车。

3) 轴重轻。与其他轨道交通车辆相比,轴重约为 11 t,能有效降低对轨面的载荷,降低工程造价,同时降低牵引能耗。

4) 噪声小。钢轮钢轨制式有振动较大、噪声较高的缺点,虽然在地下敷设时对环境影响较小,但在高架和地面敷设时则成为需要考虑的重要因素。长春轻轨车辆为独立轮对结构,采用橡胶弹性车轮明显改善了冲击振动,同时也降低噪声,减少轮轨磨耗。

5) 制动系统采用液压制动,体积小,重量轻,结

构紧凑。同时采用了盘形制动、磁轨制动单元以及撒沙装置，进一步提高了安全性能。

车辆主要技术参数如表 1 所示。

表 1 车辆主要技术参数
Tab. 1 Main technical parameters of vehicle

参数名称	参数值
列车长度/m	6 模块：54.62 9 模块：81.24
车轮最大宽度/m	2.65
车辆地板面高(距轨面)/mm	380(低地板处) 685(高地板处)
车辆定距/mm	10 310
车轮内高(距地板面)/mm	2 255(低地板处) 1 950(高地板处)
固定轴距/mm	动车 1 900 拖车 1 800
客室侧门净开度/mm	1 300
客室侧门开启时净高度/mm	1 980
最高运行速度/(km/h)	70
构造速度/(km/h)	80
列车自重/t	6 模块：≤90 9 模块：≤135
轴重/t	≤10.5(动车) ≤11.5(拖车)
定员(6 人/m ²)/人	6 模块：499 9 模块：780

4.3 信号系统特点

长春轻轨采用了全部国产化的、基于数字轨道电路的列车自动超速防护(ATP) 信号系统。该系统是信号系统的核心,可以保证行车安全、提高行车密度和维护行车秩序;是国内具有自主知识产权的、完整的准移动闭塞系统,有效地提高了列车的运行效率,保证列车的运行安全;包括区域控制中心设备、数字轨道电路设备和车载设备三大子系统,既满足轻轨建设对安全的需求,节省建设投资,同时也支持了国家项目。另外在长春建成了国内国产化信号系统的示范线路^[4]。

2002 年 3 号线一期采用固定闭塞制式系统,由调度集中子系统(CTC)、车站 6502 继电联锁子系统、25 Hz 相敏轨道电路和 ZD6 型直流电动转辙机等设备组成。2007 年 3 号线二期、2012 年 4 号线均采用准移动闭塞制式,采用列车超速防护系统,DS6-11 联锁子系统,控制中心与一期合用中心 CTC 系统,轨旁采用 FZL 数字轨道电路。2018 年 8 号线采用基于通信的移动闭塞系统(CBTC),由 ATS、ATP、ATO、联锁等系统组成。未来,3、4 号线可按照 8 号线的标准最终完成信号系统的全面升级。

4.4 国产化技术

长春作为国内首个建设轻轨系统的城市,在建设初期尚无相应的标准和系列产品,长春轨道集团联合相关厂家,对轻轨系统的车辆、信号等关键系统进行了自主化研发,最终实现了轻轨系统技术的高度自主化和国产化率,填补了国内轻轨车辆、信号的多项空白,并形成了一系列标准,为国家轻轨系统成套技术的自主化做出了重要的贡献。

轻轨制式的信号系统、通信系统、电力监控系统、自动售检票系统、防灾报警系统、环境监控系统、采暖系统、给排水及消防系统等均实现高度国产化,综合国产化率超过 90%。

长春轻轨制式的高度自主化和国产化为中国的轻轨系统可持续性发展奠定了坚实的基础。

4.5 减振降噪措施

长春轻轨为降低噪声影响采取了以下 6 项措施:

- 1) 轻轨车辆转向架两侧设置全封闭隔板,隔离噪声。
- 2) 轻轨车辆车轮采用弹性车轮,与轨道接触过程中会吸声减噪。
- 3) 区间采用碎石道床,除具有减振效果外,还有一定的吸声效果。
- 4) 采用无缝线路降低接头冲击的振动和噪声。
- 5) 沿线敏感区域安装吸声式声屏障。
- 6) 8 号线采用新型轨道 U 型梁,与传统的现浇梁相比,降低轮轨噪声。

通过上述 6 项措施,轻轨车辆的运行噪声优于国家环评要求。这种噪声标准对于轨道交通高架线路与城市建设用地的合理间隔有着很好的示范效应,也对今后在大中城市广泛推广轻轨制式中运量轨道交通方式意义重大。

2019 年 6 月对长春轨道交通 8 号线车站区间进行了噪声测试。选取了和安街站—光机路站区间(曲线半径为 400 m)、一二三中学站—小南站区间(曲线半径为 900 m)、小城子站—北湖大桥站区间(长区间,列车能长时间维持最高运行速度),通过测量,8 号线的噪声优于国家规范的要求,同时降噪效果在广义轻轨范畴也属优秀水准。测试结果如表 2 所示。

5 长春轻轨系统未来发展及展望

长春轨道交通 3、4、8 号线是传统意义上典型轻轨的代表,其主要特点如下。

表2 8号线噪声实测结果

Tab.2 Noise measurement results of Line 8

区间	距离 线路	备注	实测 噪声值	国家规范 要求
8号线(和安街 站—光机路站 区间)	曲线半径 400 m	出站 噪声	60.6 dB(A)	居民文 教区昼间 70 dB(A); 夜间 67 dB(A)
8号线(一二三 中学站—小南 站区间)	轻轨桥梁正 下方	背景 噪声	64.1~ 67.2 dB(A)	
	曲线半径 900 m	列车 通过时	67.1 dB(A)	
8号线(小城子 站—北湖大桥 站区间)	列车长时间 维持最高运 行速度	列车 通过时	66.4~ 66.5 dB(A)	

- 1) 运能: 1万~3万人次/h。
- 2) 敷设方式: 主要为高架、局部地面或地下。
- 3) 车辆: C型轻轨铰接车, 轴重≤11.5 t。
- 4) 供电及受流方式: 10 kV 分散式供电, DC750V 接触网受流。
- 5) 信号: 由调度集中子系统(CTC)逐步升级至基于通信的移动闭塞系统(CBTC)。
- 6) 轨道: 50 kg/m 工型钢轨, 区间碎石道床。
- 7) 噪声控制: 轻轨车辆运行噪声均在 65/50 dB 左右, 优于国家要求范围以内。

长春市轻轨制式的轨道交通方式正在有序推进中: 3号线东延工程在建; 随着长春轨道交通第三期建设规划项目的启动, 4号线南延、3号线南延陆续开工建设, 4号线西延、4号线南南延、8号线北延等后续建设工程, 最终长春市轻轨将达到 110 km 的运营规模。近期轻轨开展的工作主要如下。

5.1 3号线东延建设工程

线路长度 5.4 km, 车站 4 座, 将既有西安桥至长春站南广场段线路由地面线改造为地下线, 并继续向东延伸至伪皇宫站。从而与 4 号线形成环状网络形态, 并大幅提升线路折返能力, 同时, 与轨道交通 1、2、4 号线有效换乘、互联互通。

5.2 3号线扩能改造工程

随着长春市进入网络化运营时代, 3 号线的运能有了很大的提升, 目前平均日客流达到 15 万人次, 基本达到目前系统的最大能力。呈现出早晚高峰拥挤严重、服务水平比较地铁差距大、设备功能老旧、存在安全隐患等问题。3 号线扩能改造方案从外部因素和内部因素入手, 以缩短发车间隔和提高单车的载客量为目标, 以不中断运营和确保改造期间运营安全为前提, 对 3 号线进行全面扩能的系统研究。重点任务在

于 5 处平交道口的封闭改造、车辆系统的载客能力加强、信号系统的全面升级, 以及车站、车辆段土建系统的新建、改造方案等。平交道口的封闭改造将结合道口立交方案的设计、区域交通组织方案的制定, 纳入到政府的建设计划中同步实施; 车辆工程将对扩编 9 模块车辆以及 82 m×2.65 m 的高地板车辆方案进行重点比较; 信号系统将对准移动闭塞制式升级为给予通信的移动闭塞系统的可行性进行论证; 土建将对车站的加长、加宽、加高以及附属设施的增建、改建进行研究, 同时对新建车辆段和原有车辆段、停车场的功能定位进行系统研究等。

5.3 新线网的规划编制工作

结合 2035 年国土空间规划编制, 长春市正在同步开展第 6 版轨道交通线网规划修编工作。充分发挥轨道交通引领城市发展的骨干作用, 结合城市空间结构、产业布局、未来发展方向和目标, 建立起支撑长春现代化都市圈多模式、多层次的轨道交通体系。形成城际铁路、市域市郊铁路、市域快线、地铁、轻轨、有轨电车互为补充的轨道交通体系, 为完善城市功能、优化城市空间布局、改善城市环境、提高城市品位、带动经济社会发展发挥重要作用。在线网规划中要充分发扬长春市轻轨制式轨道交通系统的优点、经验, 更好地为城市发展服务。

6 结论

从长春轻轨的规划建设背景出发, 全面分析了长春轻轨制式的规划特点、建设特点、技术特点, 并对今后要开展的项目以及未来发展进行了展望。长春轻轨运能为 1 万~3 万人次/h, 采用钢轮钢轨铰接型车辆, 线路可适应小半径、大坡度, 敷设方式灵活, 以高架敷设为主、局部地面或地下, 采用区间碎石道床、有着良好的降噪效果, 被认为是典型的轻轨系统, 也是在“52 号文”发布后, 可以在大中城市广泛推广的成熟轻轨制式。这种轻轨制式及先轻轨后地铁的发展模式对与长春实力大体相当的大、中城市具有借鉴意义。长春在近 20 年的轻轨建设运营过程中积累了丰富的经验并形成了系列的标准, 8 号线代表目前国内典型轻轨的最高技术水平, 这些都可以给正在开展和准备开展轻轨规划、建设的城市提供参考。

参考文献

[1] 崔凯. 长春市轨道交通发展的历史与展望[C]//中国城市轨道交通规划 2009 年年会暨第 23 次学术研讨会. 上海, 2009.

- [2] 《长春快速轨道交通事业发展纪事》编写委员会. 长春快速轨道交通事业发展纪事[M]. 长春. 吉林人民出版社, 2010.
- [3] 刘卫民. 创新、节约、实用的长春轻轨交通[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(1): 122-124.
LIU Weimin. Highlighting the features of light rail transit in Changchun[J]. Urban mass transit, 2014, 17(1): 122-124
- [4] 白雪翎, 王海啸, 李状. 突出“长春特色”的轻轨交通[C]//2012 中国城市轨道交通关键技术论坛暨第三届中国(长春)国际轨道交通论坛论文集, 2012.
- [5] 曹国利, 刘卫民. 长春城市轨道交通线网规划及建设特点[J]. 都市快轨交通, 2013, 26(4): 33-37.
CAO Guoli, LIU Weimin. Network planning and construction features of Changchun urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2013, 26(4): 33-37.
- [6] 焦月红, 李幽铮. U 形梁在城市轨道交通中的应用及预制技术[J]. 建筑技术, 2011(4): 47-50.
- JIAO Yuehong, LI Youzheng. Application and prefabrication technology of U-shaped beam in urban rail transit[J]. Building technology, 2011(4): 47-50.
- [7] 于松伟, 周敏, 李颖. 国内外轻轨概念的发展研究: 轻轨之道: 什么是轻轨?[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(5): 38-45.
- YU Songwei, ZHOU Min, LI Ying. The study of the LRT conception at home and abroad[J]. Urban rapid rail transit, 2018, 31(5): 38-45.
- [8] 李猛, 周敏, 于松伟. 轻轨车辆特征与适应性研究: 轻轨之术[J]. 都市快轨交通, 2019, 32(1): 31-39.
- LI Meng, ZHOU Min, YU Songwei. Multimodal characteristics of light rail transit: the characteristics of LRT[J]. Urban rapid rail transit, 2019, 32(1): 31-39.

(编辑: 王艳菊)

(上接第 45 页)

- [5] Sung H, Lee S. Residential built environment and walking activity: empirical evidence of Jane Jacobs' urban vitality[J]. Transportation research part D transport & environment, 2015, 41: 318-329.
- [6] Ratti C, Pulselli R M, Williams S, et al. Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis[J]. Environment & planning b planning & design, 2006, 33(5): 727-748.
- [7] Jin X, Long Y, Sun W, et al. Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data [J]. Cities, 2017, 63: 98-109.
- [8] 郭文伯, 张艳, 柴彦威. 基于 GPS 数据的城市郊区居民日常活动时空特征: 以北京天通苑、亦庄为例[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(6): 159-164.
GUO Wenbo, ZHANG Yan, CHAI Yanwei. Study on spatio-temporal figure of suburban residents based on GPS data: a case study of Tiantongyuan and Yizhuang in Beijing[J]. Areal research and development, 2013, 32(6): 159-164.
- [9] 任颐, 毛荣昌. 手机数据与规划智慧化: 以无锡市基于手机数据的出行调查为例[J]. 国际城市规划, 2014, 29(6): 66-71.
REN Yi, MAO Rongchang. Cellphone data and smart plan: a case study of travel survey using cellphone data in Wuxi[J]. Urban planning international, 2014, 29(6): 66-71.
- [10] 叶宇, 庄宇, 张灵珠. 城市设计中活力营造的形态学探究: 基于城市空间形态特征量化分析与居民活动检验[J]. 国际城市规划, 2016(1): 26-33.
- YE Yu, ZHUANG Yu, ZHANG Lingzhu. Designing urban spatial vitality from morphological perspective: a study based on quantified urban morphology and activities' testing[J]. Urban planning international, 2016(1): 26-33.
- [11] 徐磊青, 刘念, 卢济威. 公共空间密度、系数与微观品质对城市活力的影响: 上海轨交站域的显微观察[J]. 新建筑, 2015(4): 21-26.
XU Leiqing, LIU Nian, LU Jiwei. The impact of density, ratio and microcosmic quality of public space on urban vitality: microscopic observation of Shanghai rail transit station areas[J]. New architecture, 2015(4): 21-26.
- [12] 龙瀛, 周垠. 街道活力的量化评价及影响因素分析: 以成都为例[J]. 新建筑, 2016(1): 52-57.
LONG Ying, ZHOU Gen. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: a case study of Chengdu[J]. New architecture, 2016(1): 52-57
- [13] 汪海, 蒋涤非. 城市公共空间活力评价体系研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2012, 9(1): 56-60.
WANG Hai, JIANG Difei. Evaluation system research on vitality of urban public space[J]. Journal of railway science and engineering, 2012, 9(1): 56-60.

(编辑: 郝京红)