

跨座式单轨交通 车辆道岔结构及分析

Kuazuoshi Dangui Jiaotong
Cheliang Daocha Jiegou ji Fenxi

◎ 仲建华 杜子学 何希和 编著



人民交通出版社
China Communications Press



跨座式单轨交通 车辆道岔结构及分析

Kuazuoshi Dangui Jiaotong
Cheliang Daocha Jiegou ji Fenxi

◎ 仲建华 杜子学 何希和 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是国家西部开发重点工程项目重庆市跨座式单轨交通建设和国家科技支撑计划项目跨座式单轨交通装备研发的研究成果,主要介绍跨座式单轨交通两大关键技术——车辆和道岔的结构及其分析方面的研究工作。全书共分八章,重点介绍了车辆和道岔结构、车辆和道岔设计分析、单轨交通车辆通用技术条件等。

本书供跨座式单轨交通系统、单轨交通车辆与道岔研究及开发人员、检测与维护人员学习,也适用于城市轨道交通相关专业的大中专院校师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

跨座式单轨交通车辆道岔结构及分析 / 仲建华, 杜子学, 何希和编著. — 北京: 人民交通出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-114-11107-5

I. ①跨… II. ①仲…②杜…③何… III. ①城市铁路—轨道交通—交通规划 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 312466 号

书 名: 跨座式单轨交通车辆道岔结构及分析

著 作 者: 仲建华 杜子学 何希和

责任编辑: 智景安

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京天宇万达印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.75

字 数: 470 千

版 次: 2013 年 12 月 第 1 版

印 次: 2013 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11107-5

定 价: 56.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



城市轨道交通已经成为我国城市交通发展的主流。在城市轨道交通系统中,跨座式单轨交通是一种典型制式,日本等发达国家有很多线路采用了这种制式。该制式具有线路占地少,能大坡度、小曲率线径运行,线路构造简单,建设费用低,噪声小,乘坐舒适和安全性好等特点,尤其适合山地城市、地形复杂城市和建筑群集中度高的城区。独特的优势决定了跨座式单轨交通有进一步推广和广泛应用的空间。

重庆市根据自身山地地形、道路狭窄、大城市经济状况等特点,建设的轨道交通2号线采用了跨座式单轨交通制式。它是我国首次从日本引进的,也是目前我国第一条成功运行的单轨交通制式的城市轨道交通系统。正在成功运行的重庆市轨道交通3号线采用的也是单轨制式,但利用的是我国自主技术和装备。

通过重庆市轨道交通2号线的运行,发现单轨交通制式尽管优势明显,但是由于跨座式单轨交通装备的一些关键核心性技术依然掌握在日本等国外公司手中,使得关键装备的国产化率低,造成建设投入费用大,运行成本高,严重制约了单轨交通在我国的推广与应用。为尽快掌握关键技术,打破日本等国外公司的垄断,填补国内技术空白,形成自主开发能力,解决进口设备和备件价高、维修和运行成本高、供货周期长等问题,促进我国单轨交通推广应用,2007年8月,重庆市轨道交通(集团)有限公司牵头,组织重庆市轨道交通设计研究院有限责任公司、重庆交通大学、中国北车长春轨道客车股份有限公司、重庆长客城市轨道交通车辆有限责任公司、株洲南车时代电气股份有限公司、中国汽车工程研究院有限公司、重庆华渝电气仪表总厂、重庆川仪总厂有限公司、北京大成通号轨道交通设备有限公司等企业、高校和科研院所,成功申报和承担了国家科技支撑计划跨座式单轨交通装备研发项目,利用国拨经费5594万元,自筹经费2亿多元,引进、消化、吸收、再创新,围绕单轨交通装备系统集成和单轨车辆系统集成,开展了机电系统集成、车辆系统集成、列车运行控制、转向架、单轨道岔、牵引控制、安全保障与应急救援等关键技术及装备的研究与开发,攻克和掌握了相关核心关键技术,填补了我国单轨交通技术的空白,实现了单轨交通装备制造自主化、产业化;培育和发展的跨座式单轨交通装备战略性新兴产业,降低了建设与运营成本,制定了相关标准规范,解决了跨座式单轨交通系统推广和装备产业化的技术制约,研究成果已成功应用于重庆市轨道交通3号线的建设、运营与控制,并对原采用日本技术的重庆市轨道交通2号线的车辆及机电设备进行了升级改造,使其运力和运量得到提升。利用自主技术和装备建设的重庆市轨道交通3号线已成功运行两年时间,形成了自主科技示范工程。目前,该项目相关研究成果已获重庆市科技进步一等奖、二等奖等多项奖励。

本书的三位作者是重庆市跨座式单轨交通建设和国家科技支撑计划跨座式单轨交通装备研发项目的负责人和主要研究者,在总结所取得研究成果的基础上撰写了此书。撰写过程中还参阅了一些科技文献资料,在此向项目参加者和文献作者一并表示感谢。

重庆市跨座式单轨交通建设和国家科技支撑计划跨座式单轨交通装备研发项目的研究成果所涉及的内容广泛而丰富。本书由于篇幅所限,主要展现项目研究组在跨座式单轨交通两大关键技术——车辆和道岔的产品开发过程中有关结构及分析方面的研究工作,重点介绍车辆和道岔结构、车辆和道岔开发中的 CAE 分析工作以及相应产品标准。诸如在单轨车辆动力学性能分析中关于车辆系统动力学理论、单轨车体结构分析中关于有限元方法原理等,由于相关专业书中已有详尽研究,本书将不作介绍,以便读者能更直接、更好地了解和学习单轨车辆、道岔结构及分析技术。

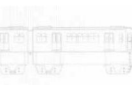
编著出版本书,旨在总结跨座式单轨交通系统研发建设经验,促进我国轨道交通事业的快速发展。但由于作者水平有限,书中难免会出现不妥之处,恳请读者批评指正。最后,向参加国家科技支撑计划跨座式单轨交通装备研发项目并向本书编著提供资料支持的重庆市轨道交通(集团)有限公司、重庆市轨道交通设计院、重庆交通大学、中国北车集团长春轨道客车股份有限公司、重庆长客轨道车辆有限公司、中国汽车工程研究院和重庆华渝电气仪表总厂表示感谢。

作 者

2013 年 10 月



第一章 绪论	1
第一节 单轨交通发展简介	2
第二节 跨座式单轨交通的技术特点	7
第三节 跨座式单轨交通系统设备	10
第二章 跨座式单轨交通车辆结构	15
第一节 跨座式单轨交通车辆总体	15
第二节 跨座式单轨交通车辆的车体	21
第三节 跨座式单轨交通车辆转向架	29
第四节 车钩缓冲装置	38
第三章 跨座式单轨交通道岔设备	44
第一节 跨座式单轨关节型道岔的结构	44
第二节 跨座式单轨平移式道岔的结构	53
第三节 重庆跨座式单轨列车通过折线道岔的几何学仿真	71
第四节 跨座式单轨列车与关节型道岔的耦合动力学研究	75
第五节 跨座式单轨列车与平移式道岔的耦合作用力分析	78
第四章 跨座式单轨列车牵引特性分析与计算	82
第一节 单轨列车运行力学模型	82
第二节 单轨列车牵引计算模型	89
第三节 单轨仿真系统设计	95
第四节 仿真系统的开发	100
第五节 仿真系统应用与分析	107
第六节 单轨列车牵引曲线优化	112
第五章 跨座式单轨车辆动力学性能仿真研究	121
第一节 多刚体系统动力学建模的理论基础	121
第二节 跨座式单轨车辆系统动力学仿真模型	124
第三节 跨座式单轨车辆动力学性能仿真分析与评价研究	136
第六章 跨座式单轨车辆车体和转向架构架结构分析	165
第一节 车体结构强度分析	165
第二节 跨座式单轨车辆车体模态分析	176



第三节	跨座式单轨车辆车体疲劳寿命预测	182
第四节	跨座式单轨车辆转向架构架结构强度分析	187
第七章	跨座式单轨车辆人机工程设计分析与评价	204
第一节	车辆内部人机工程设计分析基础	204
第二节	跨座式单轨车辆内部空间人机工程设计质量分析	213
第三节	热舒适性评价方法的理论基础	233
第四节	跨座式单轨车辆乘员热舒适性仿真分析	242
第八章	跨座式单轨车辆气动造型优化分析	248
第一节	跨座式单轨车辆气动特性分析模型	248
第二节	迎风环境下跨座式单轨列车气动特性优化分析	255
第三节	影响跨座式单轨车辆气动特性的主参数和优化路径	265
附录		270
附录 1	我国城市轨道交通分类表	270
附录 2	跨座式单轨交通车辆通用技术条件	272
参考文献		288



第一章 绪 论

随着我国综合国力的增强,城市化进程的快速发展,城市人口越来越密集,规模城市逐渐增多,道路车辆急剧增加,给城市交通带来了空前的压力。传统的城市地面交通包括公共汽车、小汽车、无轨及有轨电车等,由于道路车辆快速增长、线路条件、运行需求的限制,造成了交通拥堵、环境污染甚至交通事故等严重的社会问题,相关研究明确指出:汽车尾气排放是我国近期城市雾霾的主要因素,以汽车为主的公交交通方式已不能满足城市快速发展、绿色交通的需要。

城市轨道交通系统是城市现代化的标志,城市轨道交通系统是指在城市中使用车辆在固定轨道上运行并主要用于城市客运的交通系统。城市轨道交通的出现,对以汽车为主的城市公共交通来说无疑是雪中送炭,它以运量大、准时高速、安全可靠、污染轻、路权等级高等为特点,成为大中城市治理和解决交通问题的首要选择。世界各国普遍认识到:解决城市交通问题的根本出路在于发展城市轨道交通。

城市轨道交通在国外已有 100 多年的发展历史,早在 1825 年,英国建成了第一条商用铁路,随后在 1863 年,建成第一条地铁。1870 年,纽约建成高架轨道交通线,柏林也在 1881 年建成第一条电气化铁路。1888 年,美国又建成第一条有轨电车系统。20 世纪初,地铁和有轨电车迎来了第一次大发展。第二次世界大战以后,地铁在世界范围内迅速发展。

城市轨道交通发展至今,世界上主要大城市大多已拥有比较成熟与完整的轨道交通系统。有些城市的轨道交通运量占城市公交运量的 50% 以上,有的甚至达 70% 以上。伦敦地铁建设时间最早,网络形成也比较早,它是世界上网络规模最大的地铁系统。目前,伦敦地铁是城市公交的核心,轨道交通呈放射状布置,轨道线路总长 1225km,其中,国铁 788km,地铁 408km,轻轨 29km。伦敦地铁有 275 个车站,平均每天运送旅客约 300 万人次,年客运量约 100 万人次。在美国纽约,地铁为纽约中心城区服务,覆盖范围为中心城的 4 个区,共有线路 25 条,总长度 370km,运营车辆 6700 余辆,地铁工作日日均客流量 350 万人次。在法国巴黎,地铁总长度为 214km,居世界第 11 位;年客流量达 15.78 亿人次(据 2010 年统计数字),居世界第 7 位;它有 14 条主线和 2 条支线,合计 300 个车站(384 个站厅)和 62 个交汇站,轨道交通承担了 70% 的公交运量。莫斯科地铁网络的主要结构为中心向四周辐射状,全长为 301km,拥有 12 条线路和 182 个车站,每个工作日大约能接待 800 万~900 万人次,约为公交总运量的 55%。日本东京大都市圈现有超过 280km 的地铁线,铁路近 3000km,轨道交通构成了城市公共交通的骨架体系,特别是连接市区与郊区以及远郊区的放射线更是占据了主导地位。轨道交通系统每天运送旅客 3000 多万人次,完成了东京全部公交客运量的 86%。

我国许多城市吸取国外成功经验,正在努力建立大容量的快速城市轨道交通系统,将形



成多平面的、立体的城市轨道交通网络,来解决目前汽车公交所面临的困局。

按照 2007 年我国颁布的《城市公共交通分类标准》,城市轨道交通系统分为:地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车系统、磁悬浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道交通系统等 7 大类(图 1-1)。根据不同系统的营运、技术、用途等特征,不同类型的城市应选择适应自己城市特点的城市轨道交通系统。

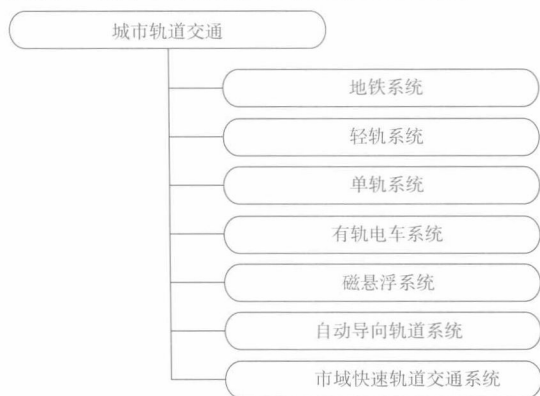


图 1-1 我国城市轨道交通分类

注:各类交通主要技术特点见附录 1。

目前,国内已建成通车并投入使用最广泛的轨道交通系统是传统的钢轮、钢轨耦合驱动式走行系统的地铁和轻轨系统,其技术相对成熟,已有百余年历史。但是,由于该类城市轨道交通系统存在建设成本高、建设周期长、高架运行噪声大、潜在地质危害和地下空间突发灾害难以处理等问题,很多城市已开始建设成本低、建设速度快、对城市生态环境影响小且具有新型驱动方式的城市单轨交通系统。

本书将主要结合重庆市跨座式单轨交通系统,对单轨交通发展史作一简要回顾。

第一节 单轨交通发展简介

一、国外单轨交通发展简介

单轨交通的发展起源于 19 世纪。1821 年,英国的亨利·帕墨尔(Henry Palmer),创造了用马牵引车辆骑行于木制轨道上的跨座式单轨交通。据此,1824 年,英国在伦敦码头附近建立过一条专用货运的单轨交通。

1888 年,法国的查尔·拉里格(Charle Larligue)以蒸汽机为动力源,在爱尔兰利斯特维尔建造了一条长约 15km 的客货两用的跨座式单轨交通线路。其平均运行速度为 23km/h,最高速度可达 43km/h,运营时间长达 36 年。在这个时期,单轨交通在应用范围与技术方面都取得了很大进步。

1893 年,德国人建造了另一类型的悬挂式单轨交通,一直运行到现在,从未发生过交通事故,已成为世界上最古老的悬挂式单轨交通线路。1898 年,由于电力牵引单轨车辆技术的出现,为单轨交通开拓了新的发展前景。同年,法国人奥根·兰根(Eugen Langen)在德国鲁尔地区的乌帕塔尔市(Wuppertaler),根据当地城市发展的需要,设计了一种采用电力牵引和钢轮钢轨走行系统的悬挂式单轨交通线路,如图 1-2 所示。该线路的车辆悬挂于拱形钢构架的纵梁底部,基本上是沿乌帕河上空运行。该线路在 1901 年竣工,并于 1903 年投入运营,线路全长 13.3km,共有 19 座车站。实践证明,悬挂式单轨交通具有造价低、空间利用率高、安全系数高等特点。乌帕塔尔市悬挂式单轨交通线路的运营,标志着单轨交通参与城市客运交通的开始。



图 1-2 乌帕塔尔悬挂式单轨交通

但是此后,由于城市有轨电车、公共汽车和小汽车等交通工具的迅速发展,以及第二次世界大战的爆发,有相当长的一段时间,单轨交通系统未能得到发展。直到 1952 年,瑞典人格林(Axel L Wenner Gren)在德国科隆近郊菲林,修建了一条长 1.9km 的跨座式单轨交通线路,并对单轨车辆开展了进一步的试验与研究,最高试验车速达 130km/h。1957 年,格林又在同一地点建成了一条长 1.8km 的跨座式单轨交通试验线,进行了实用性试验。1958 年,试验取得了良好结果,为现代跨座式单轨交通的发展奠定了基础。该试验线采用混凝土结构轨道,车辆的走行部分采用橡胶轮胎跨座式单轨车辆。后以发明者名字的英文字头命名为 Alweg 式,它是目前单轨交通的一种基本类型。

1960 年,法国的主要银行和企业合作,在巴黎南部奥尔良附近,建设了一条长 1.4km 的悬挂式单轨交通试验线。该线路采用橡胶轮胎在钢质箱形结构轨道梁内部运行。由于车的走行面在框架内部,因此噪声小、耐候性强。该形式的单轨交通命名为 Fafage 式,目前它是单轨交通的另一种基本类型。

单轨交通虽起源于欧洲国家,但却在日本得到了快速发展和技术进步。1960 年左右,日本积极探索研究,引进欧洲先进技术并结合日本国内实际具体情况,建设了适应自身发展需要的单轨交通。起初,这些单轨交通线路主要用于游乐场所的短途交通,如犬山市跨坐式单轨(阿尔威格式)、名古屋东山悬挂式单轨(萨菲基式)、向丘游乐园跨座式单轨(洛克希德式)等各种类型的单轨交通。通过反复的试验、研究和运营总结,终于于 1964 年,在东京建设了由市区连接羽田机场的跨座式单轨交通线路,如图 1-3 所示。线路全长 16.9km。通过东京羽田线运营,证实这种交通工具使用效果很好,开始被人们纳入城市现代化客运交通的行列。

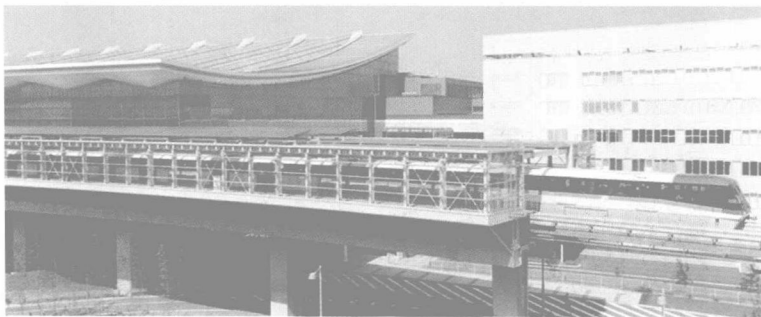
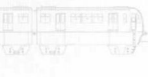


图 1-3 东京羽田线跨座式单轨交通



1964 年,日本成立了“日本单轨协会”。为使单轨车辆成为普及的城市客运交通工具,该协会吸取国际单轨交通的优点,结合日本国的自身特点,在对萨菲基式单轨交通进行技术改进的同时,对单轨车辆进行了进一步的研究。1970 年,日本大阪修建了长达 4.3km 的环形线路跨座式单轨交通。同年 3 月,又在湘南建成了长达 6.6km 的江岛线,大大缓解了该地区的交通压力。至此,日本长期对单轨交通的研究,取得了较明显的成效,也得到了国际社会的积极响应与日本政府的重视与支持。1973 年,日本政府建立了城市单轨交通建设的补贴制度,这极大地促进了日本单轨交通的发展(表 1-1),单轨交通在日本的运用也越来越广泛。

20 世纪 80 年代以来日本单轨交通的发展状况

表 1-1

时 间	地 理 位 置	新建里程(km)
1985 年	九州	8.4
1988 ~ 1995 年	千叶市	13.5
20 世纪末	大阪	24.3
2000 年前夕	东京多摩地区	16
1996 ~ 2003 年	冲绳岛那霸市	12.9

1998 年,澳大利亚在悉尼市建设了长为 3.6km 的跨座式单轨交通线路,每小时可运送 2250 人次。1999 年 3 月,佛罗里达州的杰克逊威尔市建设了自动化程度较高的跨座式单轨交通系统,长 4km,连接圣约翰两岸。这些都有效地满足了当地城市交通的需要。此外,马来西亚、新加坡、俄罗斯等国也建立了不同运量的跨座式单轨交通线路。

二、国内单轨交通发展简介

20 世纪 90 年代末,我国从日本引进跨座式单轨交通技术。2000 年开始建设的重庆市轨道交通 2 号线(又称较新线),如图 1-4 所示,是我国单轨交通建设的首条线路。2 号线的主要区段为较场口—新山村段线路,它跨越 3 个行政区,辐射 9 个片区,衔接 6 大行政区,是重庆市重大城市基础设施项目,也是国家西部开发 10 大重点工程之一,全长 19.15km,设 18 座车站,最高设计时速达 75km/h,总投资 47 亿元,分两期建设实施。2004 年 11 月 6 日,重庆轨道交通 2 号线开始载客运行,它是我国西部地区修建并运营的第一条城市轨道交通线路。目前,重庆市是我国唯一拥有单轨交通线路的城市。



图 1-4 重庆跨座式单轨交通 2 号线



2007 年 4 月 6 日,同样采用跨座式单轨交通制式的重庆轨道交通 3 号线(图 1-5)开始动工,全长约 66km,途经鱼洞、南坪、菜园坝、两路口、牛角沱、观音桥、红旗河沟、新牌坊、龙头寺等地,它将重庆市的巴南区、南岸区、渝中区、江北区、北部新城区衔接起来,并与重庆轨道交通 1、2、6 号线共同构成了重庆市轨道交通的线网骨架,有效地缓解了沿线交通压力。3 号线是重庆市最长的一条单轨交通线路,它的全部建成将极大缓解重庆市的交通拥堵状况,成为重庆城区南北方向的交通主动脉。2011 年 12 月 30 日,一、二期工程二塘到江北机场段全线通车运营。2012 年 12 月 28 日,南延伸段通车运营。目前,3 号线的一、二期工程已投入运营,全长达到 55.5km,是世界上最长的跨座式单轨交通线路。

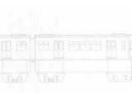


图 1-5 重庆跨座式单轨交通 3 号线

在重庆市建设跨座式单轨交通系统的过程中,为掌握单轨装备研发和安全保障关键技术,打破国外技术垄断,形成自主开发能力,降低单轨交通工程建设和运营成本,提高单轨交通系统运行安全,促进单轨交通技术的推广应用,2007 年,由重庆市轨道交通(集团)有限公司牵头,组成了产学研用联合攻关组,结合国家科技支撑计划项目“跨座式单轨交通装备研发”(下设 10 个课题)和重庆市重点项目“跨座式单轨交通安全保障关键技术研究”等,围绕单轨交通车辆系统集成、单轨交通道岔研发、列车运行控制系统、安全保障技术与装备、单轨交通系统集成接口与单轨交通国家和行业主要标准,进行了深入研究,形成了一批自主知识产权成果,填补了我国技术空白,为今后我国单轨交通系统建设提供了可靠的装备和技术支撑。相关项目的主要技术内容及创新成果包括:

(1)在我国首次研究并形成了较完整的跨座式单轨车辆数字化仿真分析方法与技术,并成功应用于车辆设计。成果包括:建立了 38 个自由度的跨座式单轨车辆系统动力学模型,结合重庆轨道交通 3 号线车辆自主研制,开展了跨座式单轨车辆动力学性能评价与仿真分析、单轨车辆转向架和车体结构强度与疲劳分析、车辆造型 CFD 优化分析、基于 RAMSIS 的车辆人机工程设计仿真分析和车室热舒适性 PMV-PPD 仿真评价、技术研究及其车辆设计应用。

(2)首次研制集成有关键部件的六辆编组和八辆编组的大运量单轨列车,掌握了单轨列车系统集成技术,研制的单轨列车主要性能指标达到或超过了国外同类产品水平。形成了车辆系统设计技术、列车编组设计与虚拟试验技术、车体轻量化挖掘技术、紧急疏散门和逃生渡板安全设计技术、车辆系统集成接口指南和基于 TCN 标准的单轨列车网络监控技术。



(3) 自主研发了单轨车辆减速传动、走行系统、基础制动和导向稳定装置等转向架关键部件和电牵控制装置、电空制动装置,研制了转向架滚动试验台,掌握了车辆关键部件核心技术。主要成果包括:减速传动快速离合和正反向传动效率提升技术;TRu350 高热稳定性基础制动盘合金材料和气液转换装置油缸、膜片、钳体及摩擦衬片研制;无内胎走行轮胎密封技术、自由锻与胎模锻相结合的轮辋锻造技术;借鉴航空机轮锻造的导向稳定装置高强度铝合金轮辋锻造技术;小型化、轻量化单轨车辆 VVVF 牵引逆变器设计技术,高性能粘着自适应控制技术;单轨车辆电空联合制动控制策略,制动故障—安全控制策略。

(4) 在国际上首次开发了平移式单轨道岔,关节可挠型道岔系统设计与制造技术填补了国内空白,实现了单轨道岔产业化与工程应用,并形成了产品标准。成果包括:关节可挠型道岔与可挠传动机构的设计方法、关节可挠型道岔静态试验技术;可挠道岔梁、可挠传动装置和可挠面板制造技术;可挠道岔控制系统设计与研制;平移式道岔设计方法与系统集成、控制系统设计和静态试验技术研究;单轨道岔标准研究。

(5) 研制了单轨列车信号速度防护系统设备(ATP)、位置检测设备(TD)和车辆移动实时视频监控系统。技术成果包括:ATP 及 TD 的 RAMS 设计与模块化设计技术、强干扰环境下信号精确识别、基于软件的故障—安全防护、嵌入式系统的安全结构计算机控制以及 ATP 接收天线和列车位置检测天线分离设计技术等;基于改进的 COFDM 高速移动视频系统大容量数据无线传输技术、数据专用网络组网及管理技术、基于双码流视频编码的视频监控数据信号传输及控制技术等。

(6) 首次开展了跨座式单轨交通系统安全保障关键技术及装备配置研究,成功研制了小型快速单轨安全巡检车、快速锚杆更换装置和工作车占用检测(TD)车载设备,开发设计了疏散检修通道,研究了单轨交通运营突发事件应急处置技术并编制了《单轨运营突发事件应急处置预案》。

(7) 开展了车辆与其他专业的接口、机电系统设备技术接口等多项单轨系统集成关键技术研究,研究并编制了跨座式单轨交通设计规范、车辆通用技术条件、施工及验收规范等国家和行业标准,形成了我国自己的跨座式单轨交通标准体系。

上述研究成果及应用,促进了重庆跨座式单轨交通装备制造业基地的建设,利用自主研发装备建成的重庆轨道交通 3 号线已成为我国单轨交通科技示范工程(图 1-6)。相关成果已应用于贵阳、北京、承德以及印度尼西亚的万隆、日惹等城市的单轨交通工程项目可行性研究及其工程设计与咨询项目。



图 1-6 重庆单轨车辆生产基地

第二节 跨座式单轨交通的技术特点

跨座式轨道交通系统主要由车辆、轨道结构、设备系统和车站建筑等组成。跨座式单轨交通车辆通过单根轨道梁来实现支承、稳定和导向,如图 1-7 所示。车辆车体跨骑在轨道梁上方,依靠走行装置在轨道上行驶,同时利用夹行在轨道梁两侧的导向轮与稳定轮,来保证车辆通过曲线路段时的导向及车辆沿轨道行驶时的安全平稳。跨座式单轨交通的主要技术特点和技术关键体现在车辆、轨道梁和单轨道岔三方面。由于行驶原理完全不同于钢轮—钢轨系统,轨道梁承受较大的扭转荷载。

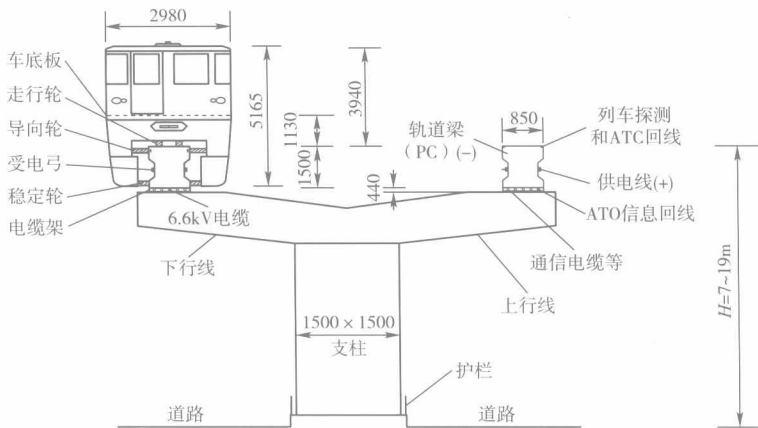


图 1-7 跨座式单轨交通线路与车辆形状(单位:mm)

一、跨座式单轨车辆转向架

跨座式单轨车辆转向架是车辆的核心部分,它最能体现该交通系统的运行特点。由于跨座式单轨交通车辆独有的行驶原理及“轮轨耦合关系”,决定了跨座式单轨车辆转向架特殊的结构形式。每辆车有两台转向架,转向架采用两轴结构,转向架可分为动力转向架与非动力转向架。转向架的走行部分由走行轮与稳定轮组成,均采用橡胶轮胎。一台转向架上共计有 10 个轮胎,包括 4 个走行轮、4 个导向轮和 2 个稳定轮。在驱动轴转矩的作用下,走行轮主要将车轮的旋转运动变为车辆沿轨道方向的行驶运动。导向轮负责导向,稳定轮保证车辆的稳定性。单轨车辆转向架采用无摇枕结构,车体直接由空气弹簧支撑,以实现轻量化和舒适性。转向架通过中央牵引销装置传递牵引力和横向力等(具体结构形式见第二章)。

二、跨座式单轨交通轨道梁

跨座式单轨交通轨道结构由轨道梁、支柱(包括托梁、基础)与道岔三部分组成。支柱的主要形式有 T 形、倒 L 形和门形等,可根据地形、地质等不同情况选择使用。

轨道梁是列车的运行轨道,起承载、导向、稳定车辆的作用,梁的制作标准要求较高。跨

座式单轨的轨道梁有预制混凝土轨道梁和钢制轨道梁两种。大多数跨座式单轨铁路都采用标准预制混凝土轨道梁,如图 1-8 所示,俗称 PC 梁,跨度为 20~22m。轨道梁断面一般采用工字形中空截面,高度为 1.5m,宽度为 0.85m,如图 1-9 所示。轨道梁采用预应力混凝土,全部用专用模板制成,具有较高的精度。当跨度大于 22m 或轨道梁建筑高度很高时,原则上采用钢制轨道梁。钢制轨道梁断面一般采用箱型截面。它是集多种功能于一体的建筑结构,既要有一定的刚度,也要有一定的强度。

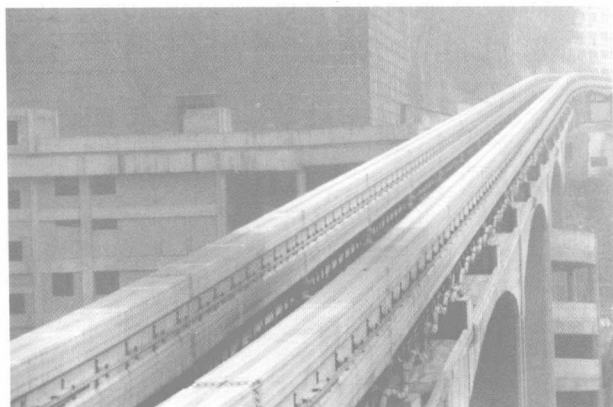


图 1-8 跨座式单轨轨道梁

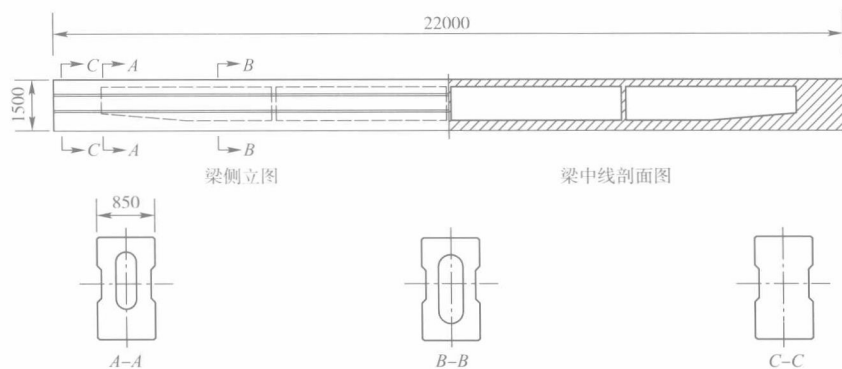


图 1-9 轨道梁结构示意图(单位:mm)

三、跨座式单轨交通道岔

跨座式单轨交通线路的道岔是集导向与承重于一体的结构,使车辆在转线中保持平稳并保证安全。道岔结构不仅应有较高的承载能力,还应在装拆时灵活轻便。道岔结构由于需承受较大的扭曲力、冲击力等车辆运行载荷的反复作用,所以要保证具有一定强度、刚度及耐疲劳强度。道岔的性能直接影响线路的安全性、平稳性和运营效率。因此,单轨交通道岔技术是单轨交通系统的关键技术。

跨座式单轨交通系统所使用的道岔结构及其控制方式与常规的轮轨交通完全不同,它构成复杂,形式多样。跨座式单轨交通道岔一般由轨道梁、指形板、尾轴装置、转辙驱动系统



和控制系统等部分组成。它采用与轨道梁相似的梁结构,由一组互相连接、关节间可动的钢箱梁组成。跨座式单轨交通道岔分为3种类型:关节型道岔、关节可挠型道岔和平移式道岔(作者发明专利成果)。3种结构形式的单轨交通道岔各有特点,适用场合不同。3种道岔的结构、工作原理等在后面章节中予以详解。

四、跨座式单轨交通的特点

跨座式单轨交通最主要、最直接的表现形式就是车辆转向架的走行部分、轨道梁和道岔。也正因为这些结构各自独有的特点,当车辆运行时,带来了单轨交通与其他制式的轨道交通系统在性能上的巨大差异。

1. 跨座式单轨交通的优点

1) 运行速度较快,运量较大

单轨交通具有较高的路权等级,不受地面其他交通工具和行人的干扰。最大速度可达80km/h,平均速度为30km/h,每小时客运量达0.5万~2万人次。

2) 占地面积小,空间利用率高

因为跨座式单轨交通线路结构窄,一般利用城市中央隔离带设置结构墩柱,区间上下双线轨道结构总宽度约7m,与其他线路相比占地较少,对地面交通和景观的影响较小。

3) 建设周期短,造价低,运行费用低

由于跨座式单轨交通轨道线路结构比较简单,标准化的轨道梁可在工厂完成,混凝土支柱在现场浇筑和拼装,建造容易,所以跨座式单轨交通系统建设工期短,每千米造价远低于地铁,大约是地铁的1/3。

4) 安全舒适

跨座式单轨交通车辆由于有两侧的导向轮和稳定轮夹行在轨道上,且除走行轮、水平轮外还配有安全轮,因此能保证轮胎爆裂或泄气时的行车安全。同时由于橡胶轮胎和空气弹簧的共同减振作用,使列车运行平稳;再加上车辆高架运行以及车内拥有优异的空调环境、视屏通信设备等,能使乘客感觉乘坐舒适、视野广阔,乘坐的同时可兼有城市观光。

5) 噪声低,环境污染小

跨座式单轨交通车辆采用橡胶轮胎,运行时噪声和振动都比较小,车辆与轨道梁的耦合振动激发梁柱所形成的二次辐射噪声很小。由于车辆采用电力驱动,不会产生污染环境的废气。

6) 爬坡能力和曲线通过性好

由于跨座式单轨交通车辆特殊的转向架结构、行驶原理及轮轨耦合关系,车辆轮胎与轨道间的附着系数大于钢轮钢轨粘性系数,使得单轨车辆具有较强的爬坡能力,最大坡度可达10%。另外,特殊的走行结构使车辆能够通过最小平面曲线半径为30m而不产生脱轨问题。为了保证运行平稳、乘坐舒适和较快的运行速度,通常,单轨交通正线的最大坡度不超过6%,最小曲线半径不小于100m。

2. 跨座式单轨交通的缺点

跨座式单轨交通的缺点主要包括:

(1) 由于橡胶轮胎与混凝土轨道面之间的摩擦滚动阻力比钢轮钢轨之间的摩擦滚动阻



力大 40% 左右,因此车辆运行能耗大,轮胎磨损带来的换胎成本高。

(2) 运能比地铁小,其单向每小时客运量一般为 1 万 ~ 2 万人次。

(3) 整个系统不能与常规的地铁、轻轨接轨。

(4) 道岔结构复杂、笨重,道岔转换时间长,延长了列车折返时间。

(5) 走行装置维修、拆装方便性欠佳。

(6) 在列车运行区间内发生事故时,疏散和救援比较困难。

由于跨座式单轨交通相对地铁存在以上优缺点,因此,城市轨道交通建设一定要结合当地地形条件、经济发展水平、居民消费水平和运输量需求来综合考虑选择城市轨道交通的制式。

同时,在跨座式单轨交通的建设与运行过程中,本书作者所带领的产学研用合作团队,也在不断探索,寻求通过技术攻关与创新,来努力克服单轨交通的不足,目前已取得的主要进展有:

(1) 通过优化和改进车体骨架结构和断面,将制动能量回收装置由车载方式改为地面放置等,实现了车辆轻量化,单节车减重达 2.5t 以上,降低了运行能耗。

(2) 正在探索创新与改进转向架结构,以减小车轮和轨道梁之间的摩擦阻力和减少轮胎磨损,达到降低运行成本和电能消耗、提高换轮效率的目的。



图 1-10 单轨交通维修疏散通道

(3) 在线路上设计开发了维修疏散通道(图 1-10)。该通道采用钢制格栅结构,它的设置将为高架区间单轨车辆的乘客在火灾等突发事件条件下逃生提供空中疏散通道,提高了旅客疏散效率;同时为车辆发生故障时的维修人员提供站立条件和检查步道。

第三节 跨座式单轨交通系统设备

跨座式单轨交通系统设备基本上可分为线路、站场、供电、通信及其他设备(包括自动售票、门禁系统、火灾自动报警和自动灭火系统、车站机电设备、环境与设备监控、综合监控等),如图 1-11 所示。以上这些设备是保证单轨交通系统正常、安全运营的物质基础。单轨交通系统的设备组成,与传统型城市轨道交通没有明显的区别,但是由于独特的构造形式,在供电、通信、信号、包括自动控制等方面的一些技术措施和设置方式与传统的城市轨道交通方式——地铁也不完全相同。

一、供电系统

跨座式单轨交通供电系统与其他城市轨道交通一样,是列车运行的动力源,由电力源、供电线路、主(降压)变电站、中压环网、牵引供电系统、变配电系统、电力监控系统、杂散电流防护系统、再生制动能量吸收装置、防雷设施和接地系统等部分组成,但其各子系统又有一些与传统城市轨道交通不同的特点。