

2005 · 中国 · 重庆

城市单轨交通国际高级论坛 论文集

中国国际工程咨询公司
建设部地铁与轻轨研究中心 合编
重庆市轨道交通总公司



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

2005 · 中国 · 重庆 城市单轨交通国际高级论坛 论文集

中国国际工程咨询公司
建设部地铁与轻轨研究中心 合编
重庆市轨道交通总公司

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

该书为中国国际工程咨询公司、建设部地铁与轻轨研究中心、日本海外铁道技术协力协会、日本单轨协会、重庆市建设委员会共同主办的、由重庆轨道交通总公司和株式会社日立制作所共同承办的2005·中国·重庆单轨交通国际高级论坛论文集,书中收录了城市单轨交通各专业论文103篇,内容包括线网规划综合研究、单轨车辆、机电设备及国产化、工程设计、施工监理等五部分,较全面反映了单轨交通在我国的发展与建设。本书可供有关领导及管理部门、建设部门、研究单位、高等院校及生产部门科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

2005 中国·重庆城市单轨交通国际论坛高级论文集/
中国国际工程咨询公司,建设部地铁与轻轨研究中心,
重庆市轨道交通总公司编. —北京:中国铁道出版社,
2005.7

ISBN 7-113-06587-2

I. 2... II. ①中...②建...③重... III. 城市铁路:
单轨铁路—重庆市—国际学术会议—文集
IV. U239.5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 073930 号

书 名:2005·中国·重庆城市单轨交通国际高级论坛论文集

中国国际工程咨询公司

作 者:建设部地铁与轻轨研究中心 合编

重庆市轨道交通总公司

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:殷小燕

责任编辑:殷小燕

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京市兴顺印刷厂

开 本:880×1230 1/16 印张:37.25 字数:1003千

版 本:2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印 数:1~1200册

书 号:ISBN 7-113-06587-2/U·1809

定 价:70.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话:市电(010)51873147 路电(021)73147 发行部电话:市电(010)51873172 路电(021)73172

2005·中国·重庆 城市单轨交通国际高级论坛

支持单位：中华人民共和国建设部
重庆市人民政府

主办单位：中国国际工程咨询公司
建设部地铁与轻轨研究中心
日本海外铁道技术协力协会
日本单轨协会
重庆市建设委员会

承办单位：重庆市轨道交通总公司
株式会社日立制作所

协办单位：重庆市轨道交通建设办公室
三井物产株式会社
朝阳贸易株式会社

会议组织委员会

主任：胡希捷 中国国际工程咨询公司常务副总经理

副主任：李晓江 建设部地铁与轻轨研究中心主任

秦国栋 建设部地铁与轻轨研究中心副主任

吴波 重庆市建设委员会副总工程师

李秀敏 重庆市轨道交通总公司副总经理

石川正和 日本单轨协会技术部长

秘书组：

组长 吴焕君 重庆市轨道交通总公司 总体部部长

副组长 吉岗迪（社）日本海外铁道技术协力协会 重庆单轨
项目执行责任人

会务组：

组长 向旭 重庆市轨道交通总公司 办公室代主任

副组长 柳村展行（株）日立制作所交通系统事业部 KM 本部
技师

论文编辑组：

主编 苗彦英

副主编 申大川 蔡顺利

前 言

城市轨道交通系统不仅在缓解城市客运交通方面发挥了重要作用，而且在节约土地资源、维持城市中心活力、引导城市空间布局和土地开发、促进城市和城市交通的可持续发展方面也发挥了巨大的作用。随着各城市对轨道交通建设需求的增加，随着科学技术进步，城市轨道交通呈现出多样化的发展趋势，出现了门类繁多的轨道交通系统，其中主要包括轻轨、单轨、导轨、线性电机牵引的轨道交通、现代有轨电车等等，并在城市交通中发挥各自的优势，占有一定比例。

从1824年第一条单轨在英国出现以来，全世界先后建设70余条单轨线路，其中有30余条线投入运营，线路总长度近200 km，单轨交通由于具有运量适中、速度快、噪声小、爬坡能力强、能通过较小曲线半径、工期短、造价低、造型优美、技术成熟等一系列优点，受到很多国家和地区的欢迎。

重庆市根据城市特点、线路特征、客流特征，根据坡陡、弯急、道路窄狭的地形特征，在我国首次选择单轨交通系统，是重庆成为直辖市后兴建的最大城市基础设施，是城市轨道交通领域首次采用跨座式单轨的重要尝试和示范性工程，在缓解城市地面交通压力的同时，促进了沿线经济发展，提升了城市形象，为我国轨道交通制式的选择提供了新的思路，为单轨交通在我国的应用、推广创造了条件。为了推动我国城市轨道交通事业的发展，探讨城市轨道交通建设过程中遇到的理论和实践问题，中国国际工程咨询公司、建设部地铁与轻轨研究中心与重庆市轨道交通总公司等单位主办了城市单轨交通高级论坛，交流单轨交通规划、设计、机电设备国产化等方面的经验，开阔视野、促进城轨交通技术水平的提高。

本次论坛收录单轨交通规划、设计、运营、机电设备国产化、施工监理等五部分内容，共计103篇论文，较全面的反映了单轨交通建设方面的技术水平。

本论文集得到全国各城市轨道交通相关单位大力支持，在此表示由衷的感谢！

组委会

2005.06.10

目 录

第一部分 规划综合

单轨交通在重庆的应用实践	沈晓阳	1
重庆跨座式单轨交通在我国的发展创新	施仲衡	5
以人为本,大众运输优先	李秀敏	8
单轨交通的地位、作用和适应性研究	秦国栋 苗彦英	13
重庆市跨座式单轨交通规划	张乃基	26
重庆市城市单轨开业及中日城市交通技术交流	菅原 操	30
我国首建的单轨交通建设成就与技术创新	周庆瑞	47
跨座式单轨交通系统的设计实践	张海波	53
重庆单轨交通工程项目管理的实践	吴焕君	64
重庆市轨道交通较新线总体设计的反思	杨镇德	72
重庆轨道交通线网形态刍议——兼论单轨交通在线网中的功能定位	边晓春 陶明鹤	80
重庆市轨道交通三号线一期工程规划研究	张安锋 宋 键 单 宁	85
基于 TOD 模式的单轨交通规划	王山川 赵 丽 关宏志	92
单轨交通系统在我国应用发展前景分析	王东民	96
轨道交通在城市交通中的重要作用	王东民	100
单轨交通在我国适应性的研究	蔡顺利 陈长祺	103
单轨交通系统的技术特性分析	左忠义	109
单轨交通与高架结构的特点	章建庆	113
东京单轨 40 年的历程技术与运营	石堂正之	117
冲绳城市单轨——建设过程、现状及影响——	上间 清	138
跨座式单轨交通系统在日本和世界的现状与未来	石川正和	147
关于 BT 融资模式在建设重庆单轨工程的应用探索	李新民	155
单轨系统总体设计的接口关系探讨	张守芝	159
单轨交通系统安全评估探索	薛 勇	164
单轨车辆的安全性分析	祁玉华	169
跨座式单轨交通系统限界研究	周 华 曹仲明	173
重庆跨座式单轨系统限界检测设备的研究	徐银光	178
重庆单轨较新线二期工程景观设计	杨彩霞	183
重庆市轨道交通较新线运输组织探讨——列车运行交路设计	鄢红英 宋元胜 关晓频	188
重庆市轨道交通三号线运输能力及行车交路研究	单 宁 宋 键	191
重庆单轨二号线远景年列车交路方案初议	边晓春 汪履直	200
单轨新线引入方案初探	刘 俐	204
重庆市跨座式单轨交通线路设计标准总结	王仕春	209

跨座式单轨交通线路设计		王仕春	214
单轨系统对东莞市轨道交通线路的适应性研究	张宇 吕永波 李凤军	伍拾煤	218
单轨交通工程建设投资控制		李秀敏 刘映霞	223
我国轨道交通投融资探讨	韩先科	池利兵 刘华杰	227
重庆单轨工程大跨倒 T 梁补充定额测定和综合单价分析报告	孙晋宁	杜国艳 刘映霞	232
城市轨道交通与土地利用的互动		杜彩军 董宝田	244
我国单轨交通系统的应用		孙佩明 王得合	249
我国城市快速轨道交通线网规划的发展和存在问题		曹刚	252

第二部分 车辆及国产化

重庆“较一新”线跨座式单轨车辆技术特征		仲建华	258
跨座式单轨车辆国产化回顾与应用展望		滕茂根	262
重庆跨座式单轨转向架研制	刘绍勇 林勤	蒋朝平	266
城轨交通车辆模拟联动试验台		谢红 武效智	273
日本多摩都 1000 系单轨交通电动车组电传动系统		高永军	280
跨座式单轨交通车用直接转矩控制逆变器国产化研究	张辉 王维彬 高永军	戴遇吉 陈宏	286
东京都上野悬垂式单轨电车		刘枫	291

第三部分 机电设备

重庆单轨较新线供电系统构成		袁勇	306
单轨跨座式快速交通牵引直流系统接地保护的探讨		周才发	311
重庆单轨较新线综合接地系统设计		郑雪涛	317
再生制动能量吸收设备在重庆单轨中的应用	王卫东	唐小伟	329
重庆跨座式单轨接触网系统工程介绍		周金龙	334
以太网在重庆跨座式单轨交通系统中的应用	王卫东	刘培栋	338
重庆单轨大堰村车辆段运用检修计算机管理系统研究		徐银光	343
重庆单轨较新线信号系统简介	李新潮	蒋先进	349
单轨交通中的自动驾驶支持系统	熊光华	陈耀民	357
重庆跨座式单轨 ATP/TD 环线的设置及列车定位	罗志兵	张守芝	362
视频图像压缩编码标准简介		王之峰	365
基于 OTN 的闭路电视系统		王之峰	368
重庆单轨防灾报警及设备监控系统通用要求的几点考虑		徐起万	372
防灾报警系统设计中应注意的几个问题		徐舰	376
重庆单轨较新线屏蔽门系统		罗志兵	377
临江门车站通风空调大系统设计		曾甫海	380
地铁环控系统现状设计现状及采用新技术展望		巩云	384
大坪隧道通风系统设计		姚景生	392
重庆单轨地下车站环控系统特点		巩云	396

第四部分 工程设计

重庆市单轨较新线一期工程轨道梁桥耐久性设计					任 强	400		
单轨交通道岔桥竖向活载作用效应分析					朱鸿欣	406		
跨座式单轨预应力曲线梁翘曲效应分析				赵晓梅	任宏业	411		
跨座式单轨简支变连续轨道梁设计				赵晓梅	窦仲贇	415		
跨座式单轨高架轨道梁桥墩柱截面选型				马 佳	任宏业	418		
重庆单轨较新线二期工程简支 PC 轨道梁设计	陈 亮	赵晓梅		窦仲贇	任宏业	421		
重庆单轨较新线倒 T 形 PC 轨道梁设计研究	朱 敏	游励晖		李 乔	周凌远	427		
跨座式单轨桥梁下部结构设计					李 林	434		
闹市区交通枢纽地段现浇梁支架设计				李振国	卫君毅	440		
单轨跨座式大跨 PC 轨道梁的张拉工艺				卫君毅	刘离榕	448		
PC 轨道梁架设及线形调整初步研究					徐廷瑶	455		
延续蒸养技术提高 PC 轨道梁产量和质量			魏成华	马 刚	陈 琳	458		
跨座式轨道交通的梁部结构形式比较					雷晓峰	464		
PC 轨道梁结构设计软件分析系统				徐 刚	朱尔玉	471		
横向荷载作用下轨道梁与车辆相互作用分析					朱尔玉 杨 威	475		
PC 轨道梁桥设计中的问题和拟优化设计内容				董德禄	朱尔玉 赵永波	480		
钢—混凝土预弯简支组合轨道梁结构设计探讨				周子云	朱尔玉 吕晓寅	485		
PC 轨道梁制造控制系统开发与应用	朱尔玉	徐瑞龙		董德禄	赵永波	489		
跨座式单轨 25 m 直线 PC 轨道梁试验分析			陈 亮	任宏业	窦仲贇	493		
25 m PC 轨道直梁静动力试验研究	董德禄	景洁民	赵永波	朱尔玉	苏国柱	徐 刚	朱晓伟	498
22 m PC 轨道曲梁静动力试验研究	董德禄	景洁民	赵永波	朱尔玉	苏国柱	徐 刚	朱晓伟	503
关节型道岔制造与安装工艺研究					李润川	都 武	508	
跨座式单轨交通的道岔系统设计和国产化的现状与发展								
			刘东庆	杜木信	陈福正	许白坚	513	
单轨车站建筑功能设计的浅析与实践——重庆市单轨较新线二期工程分析						刘敏华	520	
运营中的隧道上方修建单轨车站时需考虑的问题					罗衍俭	缪 仑	525	
重庆单轨较新线一期工程车站桥设计简介					胡京涛	游励晖	530	

第五部分 施工监理

重庆单轨较新线一期工程 PC 轨道梁架设施工方案研究及应用					苏明辉	535
单轨设计监理体会点滴					周玉辉	543
重庆单轨较新线一期工程监理模式的利弊初探					李军平	545
现浇 PC 轨道梁预埋件精度控制			申和义	李振国	卫君毅	548
合理确定地下线路埋深 降低轨道交通工程造价					王 颖	552
重庆单轨车辆段及综合基地 RC 梁施工技术				李振国	李 敏	554
浅谈人工挖孔桩穿越复杂地理(不良地质)条件下的施工措施	申和义	王 水			李 敏	562

重庆单轨高精度施工测量控制	卢颜宏	马波	565	
单轨跨座式大跨度 PC 轨道梁高强度等级、高性能混凝土的施工	李新民	孙晋宁	573	
重庆单轨工程支座安装施工技术	孙晋宁	李新民	卢颜宏	579

单轨交通在重庆的应用实践

沈晓阳

重庆市轨道交通总公司 重庆 400015

摘要:介绍了我国城市轨道交通领域首次引进跨座式单轨交通系统的过程,根据重庆市轨道交通二号线工程的应用实际,对跨座式单轨交通投资省、工期短、景观影响小、环保性好和爬坡能力强、转弯半径小的特点进行了阐述,对跨座式单轨交通制式凭借其独有的优势将在我国其他城市得到进一步推广和广泛应用进行了展望。

关键词:城市轨道交通 单轨系统 应用

前 言

重庆市轨道交通二号线工程是重庆市直辖后兴建的最大的城市基础设施工程,是我国城市轨道交通领域首次引进跨座式单轨交通系统的重要尝试和示范性工程。该工程的成功建设和运营,在极大地缓解城市地面交通压力的同时,促进了沿线经济发展,改善了居民出行和环境质量,提升了中国最年轻直辖市的城市形象,为国内其他城市在轨道交通制式选择方面提供了一种新的思路。

1 单轨交通系统的选择背景

重庆是长江上游最大的经济中心城市,是我国重要的综合性工业城市,西南最大的水陆交通枢纽与对外贸易港口,也是著名的山城。5 473 km²、600 万人口的都市区为“一城五片,多中心组团式”结构。由于地形条件限制和经济发展水平制约,城市交通难以适应城市发展需求,国家有关部门在 90 年代的研究评价报告中认为,重庆在 22 个特大城市中,城市客运交通综合发展水平位列倒数第二,急需改善。应加快规划与建设现代化的城市公共客运交通,形成以快速轨道交通为骨干,地上、地面、地下多种交通方式相结合的立体化公共交通网络。为此,市政府组织完成了轨道交通系统规划,着手进行各项工程建设准备。经过十年的不断完善,重庆已经规划六线一环共 354 公里的快速轨道交通网络系统,并计划在 2012 年前建设一、二、三、六号线约 100 km 的轻轨和地铁。首先筹备建设的是以地面高架为主的轨道交通二号线。

重庆市轨道交通二号线一期工程位于核心城区两山与两江之间的浅丘地带,纵贯狭长半岛,规划全长 19 km,并继续向西延伸,线路连接渝中区、九龙坡区、大渡口区的重要商业中心、交通枢纽、文体设施、居民小区。根据重庆多中心组团型城市地理特征,以及线路所经过区域山高坡陡、道路曲折、地形复杂等具体情况,特别是线路穿越人口密集的区域和公园,对噪声和振动等环保指标要求高等特点,经过充分论证和技术经济比较,采用了爬坡能力强、转弯半径小、噪声低、景观性好的跨座式单轨交通系统。

在交通制式的选择中,除严格按照客流预测、技术经济比较等规划原则进行综合考虑和评价

外,还着重从以下方面开展了大量的分析工作:

1.1 城市特点

线路区域海拔高度 180~430 m,相对高差 250 m,由江边到山顶横贯半岛,坡度和坡长以及线路曲折情况都是一般平原城市难以相比的。单轨系统爬坡能力 6%~8%,坡长可达 400 m 以上,最小半径仅 100 m,能充分适应城市地形特点。如果采用常规钢轮钢轨系统,3%的坡度和 300 m 半径的局限,将产生较长的地下线路及车站埋深增加到 80~100 m 等弊端。

1.2 环保性能

线路经过人口密集的三大主城区,周边居民集中且有许多大型商业办公设施,还有公园、医院、学校等文教设施,如果采用钢轮钢轨系统,不可避免地将会出现较大的噪声污染,而单轨胶轮系统则大幅度地降低了噪声污染对周边环境的影响。

1.3 景观影响

受地理条件制约,原有城市道路十分狭窄。采用单轨系统充分利用道路中央分隔带和上部空间,对城市道路无影响,而仅 0.85 m 宽的两片轨道梁体量轻盈,不影响绿化,景观性好。如果采用一般轮轨系统,高架线路区段将在原有道路上方设置平板式的高架道床,为克服噪声污染,还将在平板式道床两边设置噪声屏蔽结构,对城市景观将造成巨大影响。

1.4 投资控制

投资控制是项目建设的重要指标。单轨系统的建设投资为地铁的一半以下,同重庆的经济发展水平和财政投入能力相适应。如果采用一般轮轨系统,为解决过长的地下线路、过深的地下车站及环保设施等问题,将导致工程投资的大幅上升,使政府难以决策启动建设重庆轨道交通的第一条线路。

综上,重庆市的单轨交通制式选择充分考虑了城市地理特点、环境要求和投资能力等多种因素。

2 单轨交通系统的建设与应用效果

2.1 建设过程

1. 1990年,市政府组织完成轨道交通线网规划。1993年,日本国际协力事业团专家在渝开展了工程可行性调查。1994年,国家计委评估项目建议书,同意引进单轨交通系统技术。中日两国政府批准列入日元贷款计划。1995年~1998年,相继完成可研报告、环评报告、国产化研究报告,OECD特别帮助调查报告,以及中日合作单轨技术培训班等前期技术准备工作。1999年,国家计委批准项目建议书,完成可研报告评估。2000年批准可研报告。

2. 2000年12月,重庆市轨道交通二号线一期工程作为国家西部开发十大重点工程正式开工。线路由较场口到大堰村长 14.35 km(地下 2.2 km),14座车站(地下 3座),单轨车辆 84辆 21列,投资 35.5亿(其中日元贷款 271亿日元折合 20亿人民币)。2002年10月全线土建贯通并架设轨道梁。2003年12月全线“轨通、电通”。2003年,国家发改委批准延长到新山村的 4.8 km二期工程并入一期工程实施,全线共 19.15 km,18座车站,总投资 43亿元。2004年6月,一期工程试通车。2004年11月,一期工程观光运行。2004年12月28日,一期工程试运行。2005年6月18日,重庆市轨道交通二号线一期工程开通运营。

2.2 技术特点

与普通轮轨系统相比,跨座式单轨交通系统具有的爬坡能力强(60‰)、转弯半径小(正线 100 m、辅助线 50 m)、运行噪声低(低于 70 dB)、等特点,是建立在独有的车辆“跨座运行”方

式上,因此,在工程实施中有三大技术关键,轨道梁系统、道岔系统、车辆转向架系统,是国内的新课题,在建设过程中,通过中日各方的技术合作都得到解决。

1. 轨道梁系统

轨道梁为宽 0.85 m、高 1.5 m 工字型结构,中间为供电轨,梁跨 20~24 m,车辆骑跨于梁上行驶,轨道梁是集承重、导向、供电等多种功能的关键产品,生产安装的工艺和技术要求极高。要解决以下技术关键:

① 要有能生产各种平面及纵断面线型轨道梁的活动模板,以及能有效控制混凝土变形的材料级配和生产工艺,用这种模板生产的轨道梁误差不大于 2 mm。产品还需通过 300 万次动态疲劳试验和破坏性检查。

② 采用后张法的预应力轨道梁上配有安装支座、接触轨等有定位精度的各种预埋件,铸钢支座和汇流排、刚性接触轨等均为国内首次生产制造。

③ 为保护佛图关公园架设轨道梁不被施工便道破坏,为保证危险地段和交通拥堵区域的轨道梁架设,专门开发研制单轨架桥机和运梁车。

2. 道岔系统

单轨系统的道岔分关节型和关节可挠型两类,为 5.5 m 长多段钢箱梁结构。

“关节型”道岔呈折线型,有单开、三开、五开三种类型,通过速度较低。

“可挠型”道岔呈曲线型,有单开、双开两种形式,通过速度快仅用于正线。

道岔梁上带有供电、信号等系统,其整体移动要求在 15 s 内完成信号发出、解锁、移动、锁闭、反馈信息全过程,制造精度、机电控制要求和安全可靠性要求极高,生产安装难度极大。通过借鉴中外技术和产品开发,已实现关节型道岔的产业化。

3. 车辆及转向架系统

三面均为车轮,能适用于正线半径 100 m 的转向架是车辆制造的关键。通过引进日立公司全部生产图纸和转向架等关键部件的生产技术,采用技贷结合方式合作生产单轨车。

① 第一批 2 列 8 辆车由日立公司生产并在工厂培训中方技术人员和技工。

② 第二批 15 列 60 辆车,采用重庆研制的大断面铝型材,供长春客车厂生产铝合金车体,采购国内的空调、门机等重要设备,使用日立公司的关键部件(转向架等)。

③ 最后一批 4 列 16 辆车所有设备均由长春客车厂采购国内产品和关键部件,达到逐步实现国产化的目标。并着手二期工程车辆和三号线车辆生产工作,进一步提高车辆国产化率。

4. 其他

除上述技术关键外,工程实施中还进行了 24 m 大跨轨道梁开发,30 m 连续梁试验等创新和探索。解决了 26 m 大断面地下车站安全施工,繁华都市区地下、地面施工爆破不扰民,沿江桥墩开挖施工抗流砂,大跨度大体量倒 T 型轨道梁夏季高温的现场浇注,都市区施工减少交通拥堵等许多重大施工难题,以及土建、设备、车辆子系统的分步综合联调等系统难题。

2.3 工程造价

一期工程全长 19.15 km,总投资 43 亿元。由于严格执行招标、监理、主材集中采购和造价跟踪审计制度,投资和质量都得到有效控制。根据工程概算以及招标后施工与采购合同的执行与决算情况,平均每 km 综合造价 2.3 亿元。其中:标准的地面高架车站 120 m 长、20 m 宽,平均造价 2 000 万元/座;地下车站 200 m 长、20 m 宽,1 亿元/座;双线轨道梁平均 2 000 万元/km,道岔平均 500 万元/副;车辆 100 万美元/辆;其余的供电、信号、通讯、环控设备系统同地铁系统造价相似。同一般钢轮轨系统造价相比,总体上土建费用占比重较低,车辆设备占比重略高。

如果采用完全高架线路,站间距为 1.5 km 以上,车辆、信号本土化水平再增加一点,系统综合造价可降至 1.5~2 亿元/km。远远低于国外同等水平的单轨系统造价。也低于国内同等线路条件与水平的高架轻轨造价。

2.4 景观效果

景观效应是城市轨道交通规划、建设、运营时需要慎重考虑的重要因素。重庆市轨道交通二号线在线路规划时就以最大限度减少对城市景观的影响为目标,对利用现有道路中央分隔带进行高架桥墩布置方案不断优化。同时,根据山水城市特点,设计了沿嘉陵江滨江路行驶以及穿越城市森林公园的极具观景特色的线路方案。轨道曲线的轻盈优美,桥墩区域的立体绿化,灯饰工程的绚丽多彩,为山水城市增添了一道亮丽的风景线。试通车一年来,来自全国各地的领导、专家、学者及观光乘客,均对体现山城特色的线路景观效果给予了高度评价。

2.5 环保效果

环境影响是城市轨道交通规划、建设、运营时需要慎重考虑的另一重要因素。工程建设过程中市民高度关注投入运营后对城市环境和居民生活的影响,重庆市环境监测中心根据环境影响评价报告和国家环境保护有关规定,于 2005 年 4 月在佛图关公园区域进行了独立监测,提供的监测报告表明,跨座式单轨列车运营时在线路 12 m 处的运行噪声值分别为 64.0 dB(上行)和 57.8 dB(下行),在车站及轨道线路区域的综合电场强度和磁场强度不超过国家《电磁辐射防护规定》的有关规定和要求,污水排放达到国标一级排放标准,线路引起的环境振动不大且能满足国标标准。特别是通过试运营半年来对线路周边环境监测和居民调查结果显示,各项环保指标均满足要求,对周边环境无任何影响,居民十分满意。

3 单轨交通系统的应用和推广前景

3.1 经过工程建设实践可以得出的基本结论

① 8 辆编组 2.5 min 间隔即可以满足单向高峰小时 3~4 万人次的断面客流要求。

② 因地制宜布设灵活的高架桥墩体量小,充分利用道路中央隔离带,有利环境绿化,各种管线和房屋拆迁量极少。

③ 轨道梁工厂化生产,采用架桥机等多种方式架设,施工中对城市地面交通的干扰最小,建造周期短。

④ 列车运行噪声低,对周边环境和居民生活影响很小。

⑤ 设备本土化程度高,工程造价仅为传统地铁的 1/2~1/3,有利城市轨道交通网络的快速发展。

⑥ 方便快捷、环保性好,促进沿线物业发展、土地增值,集聚客流,创造综合效益。

3.2 面向全国的推广工作

重庆市轨道交通二号线工程是跨座式单轨交通系统在中国的第一个示范工程。单轨交通系统技术成熟,关键技术已基本实现国产化,车辆技术性能优越,具有的行车噪声小、爬坡能力强、转弯半径小、造型优美等优点,不仅适应重庆山水城市的地形特点,满足再造秀美山川的可持续发展环境保护战略,而且适合中西部地区城市经济实力与中等运量需求的现状,在国内其他城市该系统也有广阔的应用前景。重庆市已着手以下进一步应用推广工作。

① 继续总结经验、抓紧新线建设。已经规划的单轨交通制式有轨道交通二号线、三号线共 99 km,总投资约 200 亿元,将分期建设实施,形成中运量的十字型客运交通骨干线路。

② 已经成立市内外专业单位参加的中外合资单轨工程公司,以重庆市内单轨工程建设为依托,

进行面向全国的应用推广工作。

③ 同市内外单位合作，充分利用重庆市的市场需求、工业优势，推进单轨设备的产业化和市场化。

重庆跨座式单轨交通在我国的发展创新

施仲衡（中国工程院院士）

摘要：本文在分析单轨交通技术优势的基础上，总结重庆单轨在关键技术国产化方面的开创性工作，论证了根据特点发展多种轨道交通制式的必要性，并对在我国发展单轨提出建设性意见。

关键词：单轨交通 制式 国产化 推广应用

随着我国城市社会经济的飞速发展，城镇化和机动化进程的加快，城市规模迅速扩大，城市人口猛增，交通量迅速加大，有限的地面道路的扩展已经满足不了机动车增长的需求。城市轨道交通以其低污染、低能耗、高效率的运输方式成为大城市走出交通困境的重点战略，并成为许多大城市解决交通问题的首要选择。目前各大城市都在积极发展以城市轨道交通为骨干的综合交通体系。

重庆市地势沿河流、山脉起伏，地形高低悬殊，地貌结构分明，道路狭窄、曲折，多陡坡是著名的“山城”。重庆根据自身的特点，为了促进城市的发展，解决城市交通拥堵问题，在重庆轻轨较新线（较场口—新山村）选择了跨座式单轨系统，得到国家的大力支持，并列入了国家西部大开发的十大重点工程之一。填补了我国这项新技术的空白，开创了我国跨座式单轨技术的先河。

下面就重庆市跨座式单轨交通的开通发表一些看法。

1 根据城市自身的特点发展多种轨道交通制式是非常必要的

我国幅员辽阔，地形地貌千差万别，地质情况极为复杂，城市特点也极为不同。如果均采用单一的传统轮轨系统，可以说是不科学、不经济的。

以日本东京为例，日本的城市轨道交通系统纷繁复杂、种类较多，包括城市铁路、地铁、直线电机轮轨、跨座式单轨、中低速磁悬浮、AGT 新交通。各种交通模式都有其不同的优缺点和适用条件，在不同的条件下，采用不同的轨道交通模式应该是最为经济和科学的。

(1) 东京的城市轨道交通网络中，城市铁路占有很大的比重。这是由于东京中心区的地价较高，居民区向城市郊区迁移，逐渐与市中心分离。这就意味着每天早上有大量的上班族从郊区涌入城市。东京最著名的山手线是东京最繁忙的城市轨道交通系统。

(2) 地铁是城市中大容量的快速轨道交通系统，是解决城市中心区道路拥堵问题最有效的交通工具，技术最为成熟、可靠，经济、并日趋完善。但在线路选线、噪声控制方面还需完善。如果线路条件较好，这种成熟的轨道交通制式应该是首选的方案。

(3) 直线电机轮轨系统具有优越的选线优势,因此日本许多地下空间较为紧张的大城市例如东京、大阪、神户、横滨、福岗的新线建设中均采用了直线电机系统,以解决市中心拥堵的问题。但直线电机效率低的问题还有待进一步改善。

(4) 跨座式单轨系统目前在日本的许多城市得到广泛应用,例如:东京、大阪、多摩以及冲绳等城市。其具有占地小、造价低、景观好、选线灵活、噪声小、施工简单等特点。较适于城市中的高架线路,尤其对于地质情况较为复杂、施工难度较高、地面景观和噪声要求较高的城市较为适用。

(5) 中低速磁悬浮系统也具有选线能力强、噪声小、环保、舒适度好等特点,较适合于城市中的高架线路。但由于采用直线电机牵引也具有能耗高的缺点。目前正式运营的线路,只有名古屋爱知万国博览会的东部丘陵线。

(6) AGT 系统结构轻巧、噪声小、选线能力强,较适于机场和市郊的高架线路。在日本的东京临海线等线路得到应用。

从以上的分析可以看出,针对不同城市的不同线路的不同特点,日本选择了不同轨道交通制式。

我国也应对各种新的轨道交通制式的关键技术进行研发,对各种交通制式的适用性及最适宜的运量、站间距离、运行速度、行车间隔进行深入地研究和探讨,针对不同城市不同线路的特点,采用不同的轨道交通制式,以达到有效的降低造价、促进城市和交通的可持续发展。

2 跨座式单轨技术具有很大优越性和很强的适应性

跨座式单轨交通多采用高架的形式,可以满足单向高峰小时 3 万~4 万人次的断面客流,具有以下优点。

(1) 跨座式单轨线路多采用高架形式,在地面道路中央隔离带中修建,对城市规划影响较小,建设中的拆迁量和管线改移量等减小,施工难度小,有效降低了工程造价。

(2) 跨座式单轨轨道梁采用汽车吊或架桥机架设,架梁快速便捷、土建结构施工简单,施工中对城市地面交通的干扰较小,尤其适用于施工条件较为恶劣的地段。

(3) 较传统的钢轮钢轨系统综合造价较低,目前重庆轨道交通 2 号线的综合造价为 2.1 亿/km,仅为地铁造价的 1/2~1/3。

(4) 跨座式单轨系统采用橡胶轮、混凝土轨道梁支撑与导向,动力性能好、爬坡能力强,最大坡度可达 10%、曲线半径小,正线最小曲线半径为 50 m,对选线较为有利。

(5) 车辆采用橡胶轮,噪声和振动小。据测定,当列车 80 km/h 行驶时,车外噪声不大于 70 dB (A),车内噪声不大于 60 dB (A)。

(6) 跨座式单轨系统的轨道梁断面尺寸较小、构造简洁明快、不遮阳,通风好、景观好,而且桥墩的断面尺寸通常也很小,占用城市空间小。

(7) 跨座式单轨车辆采用 1 500 V 直流牵引接触导线供电,沿轨道梁的两侧铺设,施工简便、景观较好。

(8) 跨座式单轨车辆跨在轨道梁上运行,每节车上配有 2 个转向架,每个转向架上配有 4 个走行轮、4 个导向轮和 2 个稳定轮,将轨道梁紧紧地抱住,同时在各轮的相应位置设有针对橡胶轮爆胎后的钢制备用轮,并设有爆胎检测装置,运行十分安全可靠。车体支撑结构采用无摇枕的空气弹簧直接支撑方式,乘坐平稳、舒适。

(9) 轨道梁为预应力混凝土梁,可在预制场大规模制作,质量好、速度快。使整个工程更加快

速高效和安全可靠。

(10) 重庆轻轨较新线采用跨座式单轨系统, 不仅解决了沿江地段施工困难的问题, 而且成为山城沿江的一道风景线, 吸引了许多游客的乘坐和观光, 具有旅游、观光价值。

3 跨座式单轨关键技术的国产化在重庆得到了很好的实施

为了降低城市轨道交通的前期建设费用和后期维护费用, 也为了我国轨道交通制造业的发展, 轨道交通技术的进步, 我们必须推行轨道交通设备和关键技术的国产化。跨座式单轨系统的关键技术就是轨道梁系统、道岔系统和车辆转向架。

3.1 预应力轨道梁 (Prestressed Concrete 梁, 简称 PC 梁) 系统

跨座式单轨交通的线路, 除道岔区外, 都由轨道梁组成, 轨道梁中除了大跨度的钢质轨道梁和车辆段内的钢筋混凝土轨道梁外, 大部分区段上均为 PC 梁。

PC 梁既承受车辆荷载, 又是列车运行的导向轨道, 同时还是供电接触网、通信、信号管线等设施的载体, 将多种功能集成在 PC 梁上。由此可见, PC 梁的设计与制造对于整个系统来说, 尤为重要。

为了使 PC 梁的精度满足列车运行的要求, 在制梁前必须根据每榀梁在线路上的具体位置及相应的线路线形, 同时考虑到梁体的收缩徐变、结构附加荷载、超高设置方式和超高值等线形的变化, 推算出梁体制造时的初始形状, 作为立模和浇筑混凝土的依据。

PC 梁浇筑需要根据不同线形和不同梁长, 采用专用的可调整的活动模具和严格的制作工艺制造。其设计计算较为复杂、生产加工精度和安装调试要求较高, 同时对设计、施工和产品制造等单位的管理水平与技术能力要求较高。

重庆轨道交通总公司在 PC 梁试验中, 还增加了日本也未检验过得 300 万次疲劳试验, 进一步验证了国产 PC 梁长期使用的安全可靠性。

PC 梁具有体量小、功能结构紧凑、工厂化规模生产, 透光性好、景观好、架设方便快捷、对路面的正常交通不构成影响等突出特点。

经过技术引进及深入研究, 目前 PC 梁及其支座具有自主知识产权并已大批量生产制造、架桥机及运梁车已研发成功, 这些都表明我国已经完全掌握了 PC 梁系统的关键技术, 实现了完全的国产化, 并成功应用于重庆轻轨较新线上。

3.2 道岔系统

单轨道岔系统由可移动的钢制轨道梁和机电控制系统及梁上供电、信号设施等集成, 在产品精度、安全可靠性等各项指标和安装调试上要求极高。控制系统是保证单轨道岔系统安全性、可靠性的关键, 它包括对各装置的检测和控制, 保证道岔按信号要求在规定时间内完成解锁、转辙、闭锁工作, 并将道岔位置信号反馈至信号显示系统, 同时还应监测系统缺陷并反馈信息。

道岔的性能直接影响到线路的安全性、平稳性和运营效率, 因而, 跨座式单轨系统道岔技术非常重要。目前关节型道岔的国产化研究工作已取得了满意的成果, 基本达到了国产化要求, 关节可挠型道岔也有了一定的技术储备, 相信不久将会实现国产化。

3.3 车 辆

跨座式单轨车辆的车体结构、转向架、控制设备和维护设备等较传统地铁系统结构复杂, 轻量化要求高, 尤其是转向架的构造、原理较为独特。

跨座式单轨车辆的转向架采用跨在轨道梁上的结构, 采用走行轮支撑, 通过设在转向架两侧的水平轮胎导向和稳定车辆, 橡胶轮胎与轨道梁的变形和受力机理不同于传统铁路, 因而转向架技术