

跨座式单轨 交通车辆

KUAZUOSHI
DANGUI JIAOTONG CHELIANG

主编 ○ 贺 观



跨座式单轨交通车辆

主 编 贺 观

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据

跨座式单轨交通车辆 / 贺观主编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2016.4
ISBN 978-7-5643-4504-4

I. ①跨… II. ①贺… III. ①城市铁路—独轨铁路—
铁路车辆 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第008664号

跨座式单轨交通车辆

主编 贺观

责任编辑 王旻
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段111号
西南交通大学创新大厦21楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸 185 mm × 260 mm
印 张 16.75
字 数 417 千
版 次 2016 年 4 月第 1 版
印 次 2016 年 4 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-4504-4
定 价 42.00 元

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

《跨座式单轨交通车辆》

编写人员

主 编：贺 观

副 主 编：漆 伟 陈 波 周容妃

主 审：郭其一

编写人员：韦必聪 刘 彬 彭 云 刘 洋 黄德勇

吴 凡 何若鹏 倪 伟 朱海波 王永恒

刘 勇 邱剑波 鄢菲菲 况方舟 晏泽俊

随着我国城市经济的发展和人口的集中，城市交通问题越来越突出，交通拥堵严重影响了城市经济和社会活动的正常秩序和居民的出行，还带来了环境污染、能源浪费等诸多问题。城市轨道交通具有运量大、速度快、安全准时、乘坐舒适、节约能源、能有效缓解地面交通拥挤以及有利于环境保护等多方面的技术经济上的优势，因此，世界上许多国家的大城市纷纷开始采用立体化的、快速的城市轨道交通来解决日益恶化的城市交通拥堵问题。

跨座式单轨交通作为城市轨道交通的一种形式，其最大特点是车体比承载轨道要宽。跨座式单轨交通系统以其自身的特殊适应性成为中小城市、海滨城市和山地城市轨道交通的首选形式，具有对复杂起伏的地形有较强的适应性、土地占用量小、运输量适中、噪声小、造价低等优点。目前，中国、日本、美国、英国、加拿大、德国、俄罗斯、澳大利亚、马来西亚、韩国等国家已建成跨座式单轨交通线路，我国是在重庆市建成了两条跨座式单轨交通线路。

作为跨座式单轨交通核心的车辆，是由转向架骑跨在轨道梁上，车体支撑在转向架的空气弹簧上从而实现整个车辆在轨道梁上的行走。跨座式单轨车辆涉及机械、计算机、电子、控制、材料等多领域，在跨座式单轨交通系统设备中占据重要地位。

本书是对重庆跨座式单轨交通运营十多年来一个系统总结，可作为城市轨道交通高等院校的专业教材，也适合作为其他相关专业的选修课程教材，还可以作为职业院校、培训学校相关专业的教学用书；本书也可作为运营管理人员、专业技术人员的参考资料。

由于写作时间仓促及作者理论水平所限，书中难免有疏漏及不当之处，望广大读者批评指正。

编写组

2016年2月

目录
CONTENTS

第 1 章 绪 论	1
1.1 单轨交通概述	1
1.2 单轨交通的发展历程	7
1.3 重庆跨座式单轨交通	11
第 2 章 跨座式单轨车辆概述	21
2.1 跨座式单轨车辆的特点、组成和主要技术参数	21
2.2 跨座式单轨车辆的编组形式、总体布置和标识的定义	24
2.3 跨座式单轨车辆限界	31
2.4 跨座式单轨车辆牵引计算	34
2.5 跨座式单轨车辆载荷力学模型及计算	42
第 3 章 跨座式单轨车辆车体及转向架	49
3.1 跨座式单轨车辆车体	49
3.2 跨座式单轨车辆车钩及缓冲装置	58
3.3 跨座式单轨车辆转向架	62
3.4 跨座式单轨车辆车体及转向架系统检修与维护	70
3.5 跨座式单轨车辆车体及转向架的故障处理	72
第 4 章 跨座式单轨车辆牵引系统	75
4.1 牵引系统概述	75
4.2 跨座式单轨车辆牵引系统的主要部件	79
4.3 跨座式单轨车辆牵引系统的结构原理和主要技术参数	86
4.4 跨座式单轨车辆牵引系统故障处理与维护	91
4.5 跨座式单轨车辆牵引系统的故障处理	101
第 5 章 跨座式单轨车辆制动系统	106
5.1 制动系统概述	106
5.2 跨座式单轨车辆空气制动系统的组成及原理	113
5.3 跨座式单轨车辆电制动系统的组成及原理	127

5.4	跨座式单轨车辆制动系统检修与维护	130
5.5	跨座式单轨车辆制动系统的故障处理	135
第 6 章	跨座式单轨车辆辅助电源系统	141
6.1	辅助电源系统概述	141
6.2	辅助逆变器	148
6.3	蓄电池充电器及蓄电池	156
6.4	跨座式单轨车辆辅助电源系统检修与维护	161
6.5	跨座式单轨车辆辅助电源系统的故障处理	167
第 7 章	跨座式单轨车辆广播系统	176
7.1	跨座式单轨车辆广播系统概述	176
7.2	跨座式单轨车辆广播系统的构成及原理	179
7.3	跨座式单轨车辆广播系统检修与维护	186
7.4	跨座式单轨车辆广播系统的故障处理	187
第 8 章	跨座式单轨车辆车门	192
8.1	跨座式单轨车辆车门概述	192
8.2	电动内藏车门的结构组成及功能原理	196
8.3	电控气动内藏车门的结构组成及功能原理	203
8.4	门机系统检修及维护	213
8.5	门机系统的故障处理	216
第 9 章	跨座式单轨车辆空调系统	224
9.1	跨座式单轨车辆空调系统概述	224
9.2	跨座式单轨车辆空调系统的组成及工作原理	226
9.3	跨座式单轨车辆空调系统检修及维护	233
9.4	跨座式单轨车辆空调系统的故障处理	238
第 10 章	跨座式单轨车辆网络系统	243
10.1	跨座式单轨车辆列车网络控制系统概述	243
10.2	跨座式单轨车辆网络系统的 CAN 总线标准	244
10.3	跨座式单轨车辆列车网络控制系统的应用	249
参 考 文 献		259

第 1 章 绪 论

1.1 单轨交通概述

当今社会，随着城市经济的发展和人口的集中，城市交通问题越来越突出，交通拥堵严重影响城市经济和社会活动的正常秩序和居民的出行，还带来了环境污染、能源浪费等诸多方面的问题。城市轨道交通具有运量大、速度快、安全准时、乘坐舒适、节约能源、能有效缓解地面交通拥挤以及有利于环境保护等多方面的技术和经济上的优势。因此，采用立体化的快速轨道交通来解决日益严重的城市交通问题是城市交通发展的趋势。单轨交通在城市轨道交通的建设与发展中具有自身的特色和实用性。

城市轨道交通包括地铁、轻轨交通、单轨交通以及磁悬浮等交通系统。表 1-1 比较了几种形式轨道交通的特点。

表 1-1 几种形式轨道交通的特点

比较内容	地铁	轻轨	单轨	磁悬浮
地理环境条件	地下，可开挖性的 市内线路	地面平坦的市内或 市郊线路	地势起伏的 市内或市郊线路	地面平坦的 市郊线路
工程造价	较高	适中	适中	较高
高峰时段客流量	3 万 ~ 5 万人次/h	1 万 ~ 3 万人次/h	1 万 ~ 3 万人次/h	1.5 万人次/h
最大行车密度	20 ~ 40 列/h	20 ~ 40 列/h	20 ~ 30 列/h	15 ~ 25 列/h
最大坡度	40‰	30‰	80‰	10‰
最小曲线半径	300 m	200 m	50 m	1 000 m
最高运行速度	80 ~ 100 km/h	80 ~ 100 km/h	70 ~ 80 km/h	350 ~ 500 km/h

1.1.1 单轨交通的概念及其分类

单轨交通（Monorail Transit）也称为独轨交通，是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供引导作用而运行的轨道交通系统，其最大特点是车体比承载轨道要宽。单轨交通系统以其自身的特殊适应性成为中小城市、海滨城市 and 山域轨道交通首选形式之一，具备对复杂起伏的地形有较强的适应性、土地占用量小、运输量适中、造价低等发展优势。

单轨交通按支撑方式的不同，分为跨座式单轨（Straddle Monorail）和悬挂式单轨（Suspended Monorail）两种类型，如图 1-1-1、1-1-2 所示。



图 1-1-1 跨座式单轨

跨座式单轨交通的轨道架设在混凝土立柱上的预应力混凝土梁 PC 梁上，车辆跨座在轨道梁上，其重心在轨道梁的上方。为确保跨座式车辆的运行安全，轨道梁的高度尺寸大，除支持车轮（即走行轮）外还必须设置导向轮和稳定轮（统称水平轮）。走行轮为充氮气的钢丝橡胶轮胎，1 根轴上装有 2 个。在走行轮中装有轮胎内压检测装置，为了防止走行轮轮胎的爆破，在转向架构架前后端梁的中部分别设置了备用的实心橡胶车轮。水平轮为充压缩空气的钢丝橡胶轮胎为了防止轮胎泄气和爆破，每个水平轮均设置了备用的实心橡胶车轮。水平轮的防止轮胎泄气和爆破的装置设置在轨道梁的侧面。

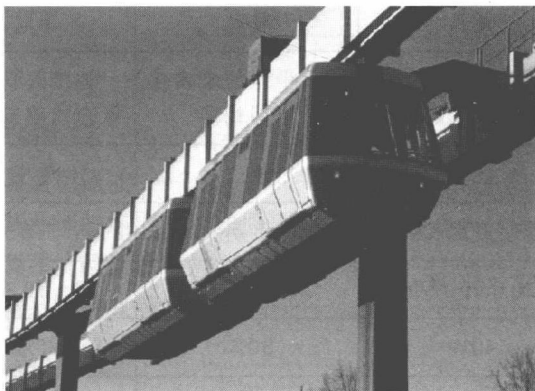


图 1-1-2 悬挂式单轨

最初实用化的单轨交通是悬挂式单轨，其车辆悬挂在轨道梁下方行驶，其重心在走行面的下方。其长处是，由于车体的悬摆作用，曲线通过时车体均衡速度的范围比较宽。但是，为防止因风等造成的横向摆动必须设置特别的装置。车体的悬挂有非对称和对称两种方式，前者用一根钢轨就能完成梁的支承结构，比较复杂；后者是在中空箱形梁下面，在前进方向设置连续的槽，其下面内侧的左右为运行路面，从槽部悬挂车体。这种结构的优点是道岔简单，同时由于路面被覆盖，可免受雨雪的影响。但是路面是悬臂梁结构，结构复杂且尺寸大，从地面算起比跨座式高。

跨座式单轨交通和悬挂式单轨交通在构造等方面尚有许多其他差异，主要区别如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 跨座式与悬挂式单轨交通的区别

比较项目	跨座式	悬挂式
工程结构	1. 车辆行驶在轨道梁上,梁下最小净高满足街道车辆限界尺度即可; 2. 轨道梁等采用预应力钢筋混凝土及钢筋混凝土结构,造价低; 3. 支柱及部分轨道梁采用现场浇筑的钢筋混凝土结构,施工工期较长	1. 车辆行驶在轨道梁下,故桥梁结构抬起高度大; 2. 轨道梁采用钢结构,造价高; 3. 钢梁等工厂制作,现场拼接建设速度快
线路曲线	最小曲线半径收到一定制约(因车辆构造与轨道梁的关系等)	最小曲线半径受限制极小,可平顺通过
维护保养	混凝土结构维护工作量小; 轨道梁、导电轨、道岔均显露于外部,检查方便	钢结构维修养护工作量大; 导电轨、走形系统等均藏于钢梁内部,不能直观检查
站台安全	站台面距道床底板高约 3 m,需考虑防跌落措施	站台面距道床底板面约 0.5 m,比较安全
气候影响	轨道梁面易受雨、霜、雪影响。虽易于清除,但也影响黏着力,有些地方需考虑防滑措施	走形系统均在钢梁内部,不受气候影响,钢结构受气温影响大,在气温变化剧烈的地区,要采取相应措施
胶轮磨损	混凝土梁面(一般经耐磨处理)摩擦力大,胶轮磨损相对大	轨道面为木制或用树脂、砂浆制成,与胶轮磨合性能好,磨损小;胶轮使用寿命约比跨座式长一倍

1.1.2 单轨交通的特点

与其他城市轨道交通系统一样，单轨交通也具有自身的优势和局限性。

1. 单轨交通的优势

1) 占地面积少，能有效利用城市空间

单轨交通是一种全线高架的轨道交通系统，可以利用普通道路之上的空间，因此不会干扰其他交通（见图 1-1-3）。由于单轨交通运行在既有道路上方，只需在城市街道中心建筑单柱式支墩，占地面积小，可以有效利用现有路面交通上部空间。

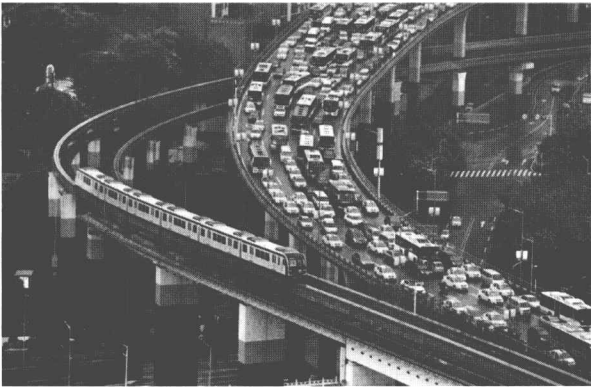


图 1-1-3 重庆轨道交通 3 号线

2) 运行安全、乘坐舒适

在轨道梁上行驶的城市轨道车辆转向架上装有 3 种轮胎：走行轮、导向轮和稳定轮。它的走行机理与钢轮钢轨系统完全不同，在列车运行过程中，走行轮始终与轨道梁顶面接触，走行轮胎的弹性主要是减缓车辆竖向振动，导向轮和稳定轮则起到缓冲车辆横向振动的作用，因此充分保障了系统的运营安全。单轨车辆的最高运行速度为 80 km/h，具有运行速度快、加减速性能好的优点，可满足乘客在出行时对节省乘车时间的要求。由于系统的运行采用全封闭模式，与其他交通形式互不干扰，因此单轨列车运行稳定、安全、正点。

3) 爬坡能力强、转弯半径小，适应地形能力强

单轨列车由于使用橡胶轮胎和特殊转向架，对于陡坡、急弯适应能力强，对地形无严格要求。列车具有较强爬坡能力，能通过较小弯道（见图 1-1-4）。它可以很好地适应城市多变的地形、地貌和复杂地理环境，可避开既有建筑物，避免不必要的拆迁，在城市中选线比较容易，从而大大降低工程造价。单轨交通在规划和选线上的适应性是其他城市轨道交通无法比拟的。



图 1-1-4 重庆轨道交通 2 号线

4) 环境污染小

单轨列车由于采用橡胶轮胎和空气弹簧转向架，因此获得了理想的减振降噪效果。据日本小仓线的实测，当列车时速为 60 km 时，距轨道中心线 10 m、离地面高 1.2 m 处的噪声值为 74 dB。由于采用电力牵引，列车运行中无尾气污染，有利于保护城市环境；由于单轨交通采用的轨道结构窄、梁柱细、对城市日照和景观影响小，与其他高架轨道交通和高架道路相比，其遮挡日光照射的影响小得多，在市区不会造成遮阳和压抑感；由于列车走行平稳，乘车舒适，乘客在车上视野宽广，眺望条件好，能起到游览观光的作用。

5) 行驶速度快，运量适中

大中城市应建立高效率的大运量交通系统，公共汽车、有轨电车虽对乘客比较方便，但在运输能力上有一定的局限性，当超过其运输能力时，就得寻求大运量的交通工具。过去只能修建价格昂贵的地铁系统，当运量不足时，运营效率低，还会造成经济上的不合理。

单轨交通的平均速度约 30 km/h，其运量在公共汽车和地铁系统之间属于中等运量交通系统。

6) 建设工期短，工程造价低

单轨交通结构构件比较简单，单轨交通轨道梁为模块结构，标准轨道梁便于工厂预制，

现场架设安装，既保证了精度又便于施工，从而可以缩短工期。

单轨交通通常是全部或基本采用高架结构，而且主体结构仅为支柱支承的两条带形的轨道梁。因此无论是工程材料用量和施工安装费用与城市其他轨道交通相比都比较低，仅为地铁造价的 1/2 ~ 1/3。

从上述优势来讲，对于那些迫切需要发展轨道交通来改善城市运营交通状态，在不改变现有城市建筑和道路交通结构，或对地质地貌结构复杂的城市来讲，规划建设单轨交通应当是最适宜的选择。但是，单轨交通也有一些局限，影响其全面铺开和推广。

2. 单轨交通的局限性

1) 载客量较少

由于跨座式单轨系统的轨道梁结构和承重的限制，单轨系统属中等运量的城市轨道交通系统，运载乘客数与地铁相比较少。表 1-1-3 所列是单轨车与地铁 B 型车的载客量比较。其中，正常载客按 6 人/m² 计，超员时按跨座式 9 人/m²、地铁 8 人/m² 计。从表中可以看出，在列车发车间隔相同的情形下，单轨交通系统的乘客输送量约为地铁 B 型车的一半。

表 1-1-3 单轨车与地铁 B 型车载客量比较

车型	正常载客量/人			超员载客量/人		
	有司机室	无司机室	总计	有司机室	无司机室	总计
单轨车（4 节）	151	165	632	211	230	882
地铁 B 型车（6 节）	230	245	1 440	290	310	1 820

2) 道岔系统造价高

由于跨座式单轨交通道岔造价要远高于钢轮钢轨系统道岔，因此在单轨交通选线和布设时必须考虑可挠型道岔尚不能国产化、采购费用居高不下的问题。在满足运营功能的前提下，应力求尽可能减少道岔冗余的思路，将导致单轨系统设置道岔时为将来可能的改变预留的备用量缩减。

3) 车辆运营成本高和运营线路耗电量高

采用橡胶车轮在混凝土梁上行驶的单轨交通，其滚动摩擦阻力为钢轮的 5 ~ 8 倍，线路通常又有较大的坡度，故能耗相对较高，同时胶轮耐磨性差，使用寿命比钢轮短。正常情况下，单轨车辆走行轮胎的寿命约为 10 万 km，非正常情况则更短，且要考虑同轴成对更换等因素。同时，由于关键部件的国产化率不高，导致部分使用数量少、保存期有限的备件配件必须进口，造成运营成本居高不下。

其次，单轨车辆换轮过程相对困难、复杂、耗时较长，导致换轮列车停驶时间较长，因此需要增加备车的数量以满足正常运营要求。增备一列 4 辆编组的单轨列车，购车成本将随之增加 4 000 万 ~ 5 000 万元，而且随着运营线路里程和开行密度的增加，备车的数量也需相应增加。

此外，选线时为了充分发挥单轨车辆爬坡能力强及适应地形地貌特点的思路，会使大坡度的线路增多，这样牵引耗电量会相应增加。根据运营统计，跨座式单轨交通系统中，牵引耗电占总耗电 55% 以上；而轮轨交通系统中，牵引耗电占总耗电 50% 以上。牵引耗电增加的

同时,总耗电量也相对增加。

4) 救援工作复杂

列车在空中行驶,在区间万一发生故障,虽然事故列车可采用其他动力车牵引至邻近车站,或采用本线或相邻线路列车将乘客接走等方式解救乘客,但救援工作毕竟复杂,而且乘客只能被动等待救援。

5) 行车密度受到制约

单轨交通的道岔系统构造比较复杂,跨座式单轨道岔形体比较笨重,转换一次道岔的时间一般都需 10 s 以上,而且列车尚需减速通过道岔,降低了列车平均运速和延长了折返时间,使增加行车密度受到制约。单轨交通的行车间隔难以低于 2.5 min,增加运量只能加大列车编组。

6) 空中行驶要防范安全问题的发生

单轨车在空中行驶,若发生车辆部件脱落会危及地面安全,必须在车辆构造上要严防部件可能的松脱。此外,跨座式单轨交通的车站,站台面距轨道梁底板较高,为防止乘客失足跌落摔伤,需要采取安全保护措施。

不过,当代单轨技术日臻成熟,安全保障系统可靠性高,正常状态下事故发生的几率是极小的,日本单轨交通已运行 40 年,从未发生过重大安全事故。

1.1.3 单轨交通的适用范围

单轨交通的特点,决定了它具有广泛的适用性。

1. 连接特大城市放射型轨道交通的环形线路

随着城市发展,人口和城市范围都在增加,放射型线网也出现了亟待解决的新问题:大量客流涌向城市中心,包括部分相向出行客流都集中在城市中心区,使得城市中心区客流过度集中,加重中心区换乘负担。同时,远离中心区部分,由于轨道交通覆盖面积不足,新城镇间的联系不便而过分依赖机动车,导致新的交通拥堵。在这种情况下,需要建设新的环状线路强化新城镇间的联系,进一步推动城市向多中心结构发展,由于单轨交通运量为中等水平,故选择单轨交通比较适合。

2. 连接城市中心与城市郊区、大型住宅区和新城镇

由于城市建设的不均衡性,在城市发展过程中,会出现一些新的大型住宅区和新城镇,伴随机动车的大量发展,当道路拓宽改造适应不了新情况的时候,就会出现新的阻塞和拥挤。在这种情况下,可选择中等运量的单轨交通。

3. 连接交通枢纽

对那些远离大城市中心区的新城镇、大型住宅区等,为进一步加强与城市的联系,需要有新的线路与现有轨道交通系统或者是干线铁路车站联系,单轨交通系统由于客流中等、造价便宜,故是一种较好的选种。布线线路时,可以联系附近的大学、研究单位、体育中心、旅游景点等,为地区出行创造良好条件。作为轨道交通,单轨车站与地铁车站、轻轨车站或铁路车站间的换乘规划设计就变得十分重要。要尽量减少换乘距离和时间,采用合理的换乘方式。

4. 特大城市中心和城市副中心间的直接连接

考虑城市间的差异,在某些城市中心到副中心之间,如果客流达不到建设地铁的标准,可以建设中等运量的轨道交通系统。在具体选择中运量轨道交通形式时,可根据城市具体情况,如地形是否复杂、街道宽度以及城市经济实力等多种因素,选择单轨交通或其他形式。

5. 机场、港口、高速铁路车站的客运专用通道

通常机场、海港和高速铁路车站不在城市中心区,距城市较远。为保证乘机、乘船、乘高速铁路的准时性,减少这些通道上的汽车数量,单轨交通是比较合适的。与建设高速公路相比,单轨交通具有占用土地少、准时,可以缩短出行时间,减少出行费用等优点。

6. 大城市的主要客运通道

大城市由于城市规模的限制,客流量通常达不到地铁和轻轨的建设标准。从节约投资和选型的合理性考虑,可以采用中等运量的单轨交通。尤其采用高架形式,更适合于街道比较狭窄的老城区公共交通。

7. 特殊地区城市的客运通道

对一些地势起伏较大、道路狭窄的城市,由于受河流、山脉、沟渠等地形影响,用地比较困难,此时选用单轨交通,可以充分发挥该系统爬坡能力较强,能通过较小半径的曲线,线路容易规划等方面的优势。

1.2 单轨交通的发展历程

单轨交通起源于欧洲,20世纪七八十年代在日本得到阔步发展,当前在美国、中国,以及东南亚等地方的一些城市,也开始采用这种交通工具作为城市骨干交通或其他短途客运交通。可以大致将其发展历程划分为3个阶段。

1.2.1 初期阶段

19世纪至20世纪中期,单轨交通起源和发展于欧洲。

据历史记载,英国人亨利·帕默尔(HenryPalmer)在1821年首先创造了用马牵拉车辆骑行于木质轨道上的跨座式单轨交通,并获英国特许发明证书,依据这项发明,1824年英国在伦敦码头,曾建造过一条供运货的单轨交通。

1888年法国人查尔·拉里格(CharleLarligue)为爱尔兰利斯特维尔设计建造了一条长约15 km客货两用的跨座式单轨。这条单轨交通以蒸汽机作为牵引动力,列车采用多节车辆编组,平均运速23 km/h,最高速度可达43 km/h。此时,单轨交通在使用范围、技术等方面较以往均前进了一大步。后来,由于汽车等交通工具的兴起,这条线路于1924年停运,运营时间长达36年。

1898年,比利时的布鲁塞尔博览会,首次推出了采用电力牵引的单轨车辆,这一技术创新为单轨交通发展开拓了新的前景。随后不久,德国鲁尔地区的伍珀塔尔(Wuppertaler)市,由法国人奥根·兰根(EugenLangen)根据当地狭长河川的地形条件,为该市设计出一种车

辆悬挂于拱形钢构架的纵梁底部，采用电力牵引和钢轮钢轨走行系统的悬挂式单轨交通。如图 1-2-1 所示，伍珀塔尔单轨交通始建于 1898 年，1903 年全线建成通车，这是单轨交通真正成为城市客运交通系统的开始。



图 1-2-1 伍珀塔尔市悬挂式单轨交通

伍珀塔尔市悬挂式单轨交通，现今采用的铰接联体车辆，长 24.06 m，可乘 204 人，平均运速为 25 km/h，最大速度为 60 km/h，高峰时行车间隔为 2.5 min，每天可运送乘客 5.5 万人。伍珀塔尔市悬挂式单轨交通，能够很好地适应城市客运需求，造价只为地铁的 1/4，占地面积小，而且从未出现过运行事故，是相当可靠的城市交通工具。它还巧妙地利用了河川地形，构造颇具特色，在第二次世界大战中，该交通系统遭到严重破坏，于 1946 年春修复后继续使用至今，100 多年来运送乘客已超过 17 亿人次。

1952 年，瑞典人格林（Axel Wenner Gren）对跨座式单轨进行了进一步的研究，在德国科隆近郊菲林根按 1/2.5 比例修建了一条长 1.9 km 跨座式单轨线路，进行模拟试验，试验达到的最高速度为 130 km/h。在此基础上，于 1957 年又在同一地点建成一条长 1.8 km 的跨座式单轨试验线，并取得成功，以阿尔威格命名这种跨座式单轨交通。这也是现今跨座式单轨交通的基本形式。

1960 年 2 月，法国十几家厂商合作并在法国国营铁路和巴黎交通公司的支持下，于巴黎南部奥尔良附近，建设了一条长 1.4 km 的悬挂式单轨交通试验线进行研究开发，并以公司名称的第一个字母组成命名为萨菲基（SAFEGE）。目前日本采用的悬挂式单轨交通，基本就是这种形式。

此后这两种形式的单轨交通在日本、美国、意大利等国家的许多城市游乐场和博览会上，作为观光娱乐和短途交通得到了广泛的应用。

1.2.2 中期阶段

20 世纪后期，单轨交通在日本得到较大的发展。

早在 1955 年，在日本就有社会舆论建议发展单轨交通这种形式的交通工具。1960 年以后的几年，日本在积极引进阿尔威格式、萨菲基式以及后期发展起来的美国洛克希德式等类型的单轨交通技术的基础上，结合本国具体情况进行了进一步研究和改进，曾建成如犬山市

跨座式单轨(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,但这些都是游乐场所内的短途交通工具。

经过一段时间的实践和总结,1964年又在东京建成一条由市区连接羽田机场,长度为16.9 km的跨座式单轨交通线路(见图1-2-2),这是跨座式单轨交通在日本正式成为城市客运交通的开始。运营证实,这种交通工具使用效果很好,使单轨交通被人们认可,并纳入了城市现代化客运交通行列。



图 1-2-2 日本东京跨座式单轨交通

1964年6月,日本成立了“日本单轨协会”,协会受政府的委托,进行了适用于城市公共交通的单轨交通的进一步发展研究,制定了有关技术标准,统一了单轨交通类型。协会还吸取国际各类型单轨交通的优点,研究出日本式的跨座式单轨交通,并对萨菲基式悬挂式单轨交通进行技术改进,以使其能适应作为普及的城市客运交通工具。

1970年,在日本大阪举行万国博览会,为解决场内客运交通需要,修建了一条长4.3 km的环形线路的跨座式单轨交通,在6个月的会期内运送乘客高达3 350万人次。1970年3月,日本又在湘南建成大船火车站至江岛的悬挂式单轨的江岛线,全长6.6 km,此线的建成对解决这一地区的交通困难起到了很大作用。

由于日本长期对单轨交通进行探索和研究,在单轨交通的建设和运营方面取得良好的效果,社会反响很好,同时也受到政府的重视和鼓励。1973年日本政府还建立了城市单轨交通建设补贴制度,在政策上及建设费用等多方面给予支持,为单轨交通的发展创造了十分有利的条件,发展迅速。北九州首先在补贴制度的支持下,于1985年建成一条长8.4 km的跨座式单轨交通;此后,千叶市在1988—1995年分段建成总长13.5 km的悬挂式单轨交通(见图1-2-3);大阪在20世纪末,建成了长24.3 km的跨座式单轨交通;东京附近的多摩地区,于2000年前夕,建成了一条长16 km的现代化跨座式单轨交通。日本冲绳岛的那霸市也于1996年初动工建设,于2003年建成了一条贯穿城市东西的跨座式单轨交通,全长12.9 km,设有15个车站。日本20世纪80年代以来建设的单轨交通,多为具有较高技术水平和较大运量的城市公共交通系统,如东京的单轨铁路年载客量已超过1亿人次。目前,日本共建成7条单轨线路,是世界上运营单轨最多,线路最长的国家。



图 1-2-3 日本千叶市悬挂式单轨交通

1.2.3 近期阶段

20 世纪 90 年代以来，单轨交通在我国和其他地区的发展。

单轨交通自 20 世纪 90 年代以来，除日本等国家外在世界其他国家和地区也在逐步发展。

澳大利亚悉尼市于 1998 年建成一条长度为 3.6 km 的跨座式单轨，每小时可运送 2 250 人，是目前作为城市客运交通规模最小的单轨交通。

在美国佛罗里达州的杰克逊威尔（Jacksonville）市也于 1999 年 3 月建成一条作为城市公共交通自动化程度较高的跨座式单轨交通，线路连接着圣约翰河的两岸，长 4 km，设有 9 个车站，有效解决了该市的交通需求，按计划工程还将继续扩建。美国拉斯维加斯单轨交通于 2004 年全线通车，是一条连接拉斯维加斯大道沿线各赌场及会议中心的单轨交通系统。

马来西亚采用了一种自行研制的体形较小的跨座式单轨交通，吉隆坡市已建成一条穿经市区长度为 8.6 km 的跨座式单轨交通。

20 世纪 90 年代初，中国重庆开始修建重庆轨道交通 2 号线，单轨技术主要源于对日本日立技术的引进。经过多年的建设运营中经过卓有成效的自主研发，建设重庆轨道交通 3 号线时采用的单轨技术已基本实现了国产化，仅少量部件需要国外引进。2008 年，中国正式颁布了《GB 50458—2008 跨座式单轨交通设计规范》，2009 年该规范正式实施，标志着中国单轨技术走向成熟化和标准化。目前，我国已完全自主掌握了单轨交通的三大关键技术，同时大大地降低了单轨建设和系统设备成本。2010 年以来，中国单轨 PC 轨道梁的预制生产工艺和架设技术出口到韩国，用于大邱单轨工程项目。截至 2013 年底，重庆跨座式单轨交通运营里程约 75 km，线网规划中跨座式单轨交通线路里程为 97.2 km。目前，重庆轨道交通 3 号线贯通运营里程达 66 km，已远超日本大阪（28 km）的吉尼斯世界纪录，成为迄今为止世界最长的跨座式单轨交通线路。除重庆以外，我国还建成了诸如西安市曲江旅游单轨线、深圳市欢乐快线等用于观光旅游的单轨线路。

迄今为止，全世界已经建设了约 70 多条单轨交通。据不完全统计，在世界各国作为客运交通运营的单轨交通线路主要有 22 条。目前，还有许多国家和地区预计建造单轨交通线路。中国香港政府计划在启德兴建一条单轨线路；马来西亚滨城、新山等城市也准备兴建这类交通系统。最近，巴西为举办 2016 年夏季奥运会，已确定在里约热内卢规划修建 3 条单轨线路，共计 60 km。