

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 单轨交通概述

单轨交通又称独轨交通，是采用电力牵引列车在一条轨道梁上运行的轨道交通系统，其组成灵活，线路可设置在地面、地下或空中，可根据需要选用不同运力的车辆系统或采用简易的装置到复杂的现代化的设备系统，以适应不同地形及地理条件。单轨交通系统特别适合中运量客流的城市。按车辆与轨道梁之间的接触关系，单轨交通可分为跨座式单轨交通（车辆骑跨在轨道之上运行，见图 1.1-1）和悬挂式单轨交通（车辆悬挂在轨道之下运行，见图 1.1-2）两种类型。



图 1.1-1 跨座式单轨交通系统



图 1.1-2 悬挂式单轨交通系统

在 19 世纪初，由于受到城市地形地貌限制，人们发明了单轨（Monorail Transit，又称独轨、空轨）交通系统，此系统的列车轨道为一根带状梁体，即轨道梁<sup>[1,2]</sup>。1821 年，英国工程师亨利·帕默尔（Henry Palmer）提出了马拉车辆骑行于木制单轨的构思<sup>[3-5]</sup>。1825 年，由美国在伦敦码头上建造了第一条货运跨座式单轨线路。1888 年，法国人查尔·拉里

格 (Charle Larlique) 为爱尔兰利斯特维尔设计并建造了一条长 15 km 的客货两用的单轨线路, 连续运营长达 36 年。1898 年, 德国鲁尔地区的伍伯塔尔市由法国人奥根·兰根设计了一条长 13.3 km 的悬挂式单轨系统, 1903 年建成通车。此时, 单轨交通正式成为城市客运的一种制式。

1893 年, 德国人 Eugen Langen 在科隆设计出首个机动化悬挂单轨铁路模型<sup>[6,7]</sup>。1960 年, 法国的雷诺、米西兰、里昂水电公司等联合设计出悬挂式单轨列车, 命名为 SAFEGE (萨非基) 悬挂式单轨列车<sup>[8]</sup>。1952 年, 由瑞典人格林 (Axel Wenner Gren) 对原已有的跨座式单轨形式进行了较大的技术改进, 并修了一条长 1.9 km 的第一条试验线路, 进行了模拟试验。1957 年在同一地点又建造了一条长 1.8 km 的实用性试验线路, 进行了实用运行试验, 并取得了成功, 从此奠定了现代跨座式单轨交通的技术基础。1960—1965 年, 日本在阿尔威克式、商洛克希德式和萨非基式单轨列车技术的基础之上, 研制出不同型号的单轨列车, 并在日本广泛应用<sup>[9]</sup>。

20 世纪 90 年代初, 重庆开始引进日本日立公司跨座式单轨技术, 并运用于国内第一条城市轨道交通跨座式单轨线路——重庆轨道交通 2 号线, 此后又新建了重庆轨道交通 3 号线, 在重庆逐步形成了中国的单轨技术。

目前, 在日本的东京、大阪、冲绳、神户、北九州等地区运行的线路有 6 条; 在中国重庆建造了世界上最长的线路; 在澳大利亚悉尼市, 美国拉斯维加斯、查克逊威尔市, 马来西亚吉隆坡, 俄罗斯莫斯科, 阿联酋迪拜, 韩国大邱等城市也相继建成了多条单轨线路<sup>[10]</sup>。受中国重庆单轨交通发展的成功热潮的影响, 世界上还有印尼的雅加达、日惹, 泰国曼谷,

印度的孟买以及我国的北京、郑州、兰州、宝鸡、六盘水等地也在准备建设跨座式单轨。

图 1.1-3 所示是世界上著名的单轨交通系统<sup>[11-18]</sup>。图 1.1-3 (a) 所示是 1901 年建成的德国鲁尔区伍珀塔尔悬挂式单轨铁路 (全长 13.3 km), 这是世界上最早、也是历史最悠久的悬挂式单轨线; 图 1.1-3 (b) 所示是东京上野动物园的悬挂式单轨铁路; 图 1.1-3 (c) 所示是澳洲悉尼跨座式单轨铁路, 该线主要用于运输达令港和市中心之间的旅客; 图 1.1-3 (d) 所示是美国加州迪斯尼乐园度假区及佛罗里达州华特迪斯尼世界度假区的跨座式单轨铁路; 图 1.1-3 (e) 所示是日本千叶市悬挂式单轨; 图 1.1-3 (f) 所示是连接法国多蒙德大学南、北两个校区的无人驾驶高空悬挂式单轨; 图 1.1-3 (g) 所示是重庆轨道交通 2 号线, 采用跨座式单轨, 它是我国建成的第一条单轨线路, 也是我国西部地区第一条城市轨道交通线路。图 1.1-3 (h) 所示是重庆轨道交通 3 号线, 采用跨座式单轨, 它是世界上客运量 (82 万人次/日) 最大、运行长度最长的跨座式单轨线路, 该线路贯穿重庆南北, 连接 1 个机场、2 个火车站、3 个经济圈、5 个公交枢纽。



(a) 德国鲁尔区伍珀塔尔悬挂式单轨



(b) 东京上野动物园跨座式单轨



(c) 澳大利亚悉尼跨座式单轨



(d) 美国加州跨座式单轨



(e) 日本千叶市悬挂式单轨



(f) 法国多蒙德大学悬挂式单轨



(g) 重庆轨道交通 2 号线



(h) 重庆轨道交通 3 号线

图 1.1-3 世界著名的单轨线路

### 1.1.1 单轨交通系统关键技术

单轨交通系统由单轨车辆、过轨道岔和梁桥系统三大核心技术组成。目前，掌握单轨交通系统技术的有日本、中国、加拿大、马来西亚等少数几个国家，其技术特点见表 1.1-1<sup>[19]</sup>。

表 1.1-1 世界主要单轨技术格局和特点

技术体系	技术优点	主要缺点	主要项目案例	造价指标	车辆供应商
日本	具备整个单轨系统的集成技术，自主掌握单轨车辆、道岔、PC 轨道全套技术，全套技术成熟；载客量大，适用于中运量的城市轨道交通	—	20 世纪 80 年代至今，在日本大阪、冲绳、九州等 6 个城市应用；20 世纪 90 年代至今，如重庆、新加坡、迪拜等出口单轨车辆和道岔	高	日立
中国	具备对整个单轨系统的集成能力，自主掌握单轨车辆、道岔、PC 轨道梁等全套核心技术；单轨技术较成熟；车辆载客能力大，适用于较大运量城市轨道交通	部分国产化子系统的性能需进一步提高	2005 年重庆单轨 2 号线全套技术；2011 年至今重庆单轨 2 号线、3 号线及其延长线全套技术；2010 年至今，PC 轨道梁技术出口韩国大邱等地	较低	日本及中车集团

续表

技术体系	技术优点	主要缺点	主要项目案例	造价指标	车辆供应商
加拿大	掌握全套单轨系统技术；车辆技术较为领先、成熟；车辆采用非传统转向架；掌握全自动无人驾驶车辆生产技术	车辆体积较小、载客能力小，大运量城市轨道交通不适用	1997 年向美国出口佛州坦帕机场线单轨车辆；2004 年向美国出口拉斯维加斯线单轨车辆	较高	庞巴迪
马来西亚	主要掌握单轨车辆技术；车辆成本有一定竞争力	技术可靠性有待进一步完善；车辆载客能力小，大运量城市轨道交通不适用	2003 年供应吉隆坡单轨车辆；2012 年供应印度孟买单轨车辆	较低	斯高密

## 1. 单轨车辆系统

单轨车辆是单轨交通制式最基本和最核心的技术。一方面，轨道交通车辆技术本身是整个单轨交通系统的技术核心；另一方面，只有确定了车辆技术体系，才能进一步选择与之匹配的道岔、轨道梁及其他配套的机电设备系统，不同单轨车辆的主要区别是转向架的构造不同（见图 1.1-4）。

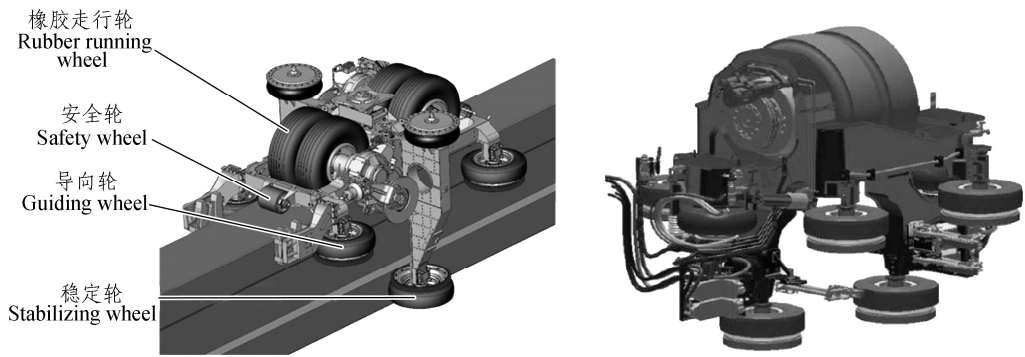


图 1.1-4 单轨车辆转向架

## 2. 单轨道岔系统

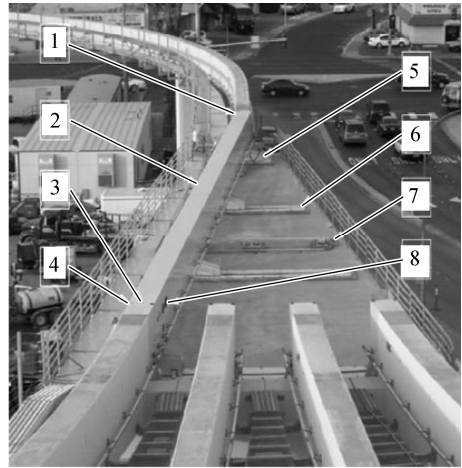
单轨道岔（见图 1.1-5）是一种钢质特殊结构的专用道岔，其截面形状与轨道梁保持一致。道岔梁转辙通过电力驱动与轨道梁或另一道岔梁实现对位而形成岔道，以实现车辆行驶线路的转换。根据道岔梁体过渡线形状（折线、圆弧线），单轨道岔可分为关节式道岔、关节可挠式道岔。关节式道岔分为单开、对开、三开、五开、单渡线、双渡线及交叉渡线等形式；关节可挠式道岔分单开、对开、单渡线、双渡线及交叉渡线等形式。其他类型的还有平移式道岔、枢轴式道岔、替换梁式道岔等。

## 3. 单轨梁桥系统

单轨交通梁桥系统（见图 1.1-6）通常由下部支撑体系、检修平台和轨道梁 3 部分<sup>[20]</sup>组成。轨道梁不仅是承重结构，也是车辆运行的轨道。此外，接触轨、通信信号电缆等设施也敷设在轨道梁上。轨道梁承担多种重要功能于一身，因而它也是单轨系统的关键系统之一<sup>[21]</sup>。



(a) 关节式道岔



(b) 枢轴式道岔



(c) 平移式道岔

图 1.1-5 单轨道岔系统

1—回转装置；2—道岔梁；3—活动接缝装置；4—固定接缝装置；  
5—台车；6—走行轨；7—驱动机构；8—锁定装置

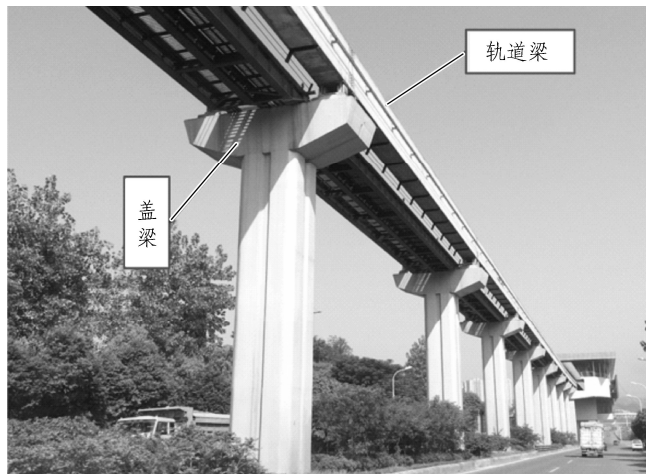


图 1.1-6 跨座式单轨梁桥体系

### 1.1.2 跨座式单轨交通的特点

跨座式单轨交通采用橡胶轮胎和预制混凝土轨道梁,是一种极具特色的城市轨道交通制式,具有爬坡能力强、转弯半径小、占地少、噪声低、运量适中、造价低等显著优点,其独特的三大技术特性是:噪声低、转弯半径小、爬坡能力强<sup>[22]</sup>。这种制式的特点主要体现在以下几个方面:

(1) 占地面积少,空间轨道结构宽度小,能有效利用城市空间。

跨座式单轨一般利用城市道路中央隔离带设置结构墩柱,由于载荷较小,其墩柱及高架结构断面尺寸较普通钢轮钢轨系统小。跨座式单轨大部分是高架结构,与其他交通各行其道,互不干扰。跨座式单轨系统高架区间如图 1.1-7 所示。



图 1.1-7 跨座式单轨系统高架区间

(2) 能适应陡坡急弯,便于在城市内选定线路。

跨座式单轨列车爬坡能力强,理论最大坡度可达 100%,最小曲率半径可达 30 m,对城市多变的地形地貌和复杂的地理环境适应性强,征地拆迁量较小,有利于控制工程投资规模。在实际工程中,正线一般选用不小于 100 m 的曲线半径和不大于 60‰的坡度。跨



座式单轨线路小曲线、大纵坡设置如图 1.1-8 所示。



图 1.1-8 跨座式单轨线路小曲线、大纵坡设置

(3) 施工简便，工程造价低。

跨座式单轨交通轨道梁桥体系结构比较简单，标准轨道梁采用工厂预制和现场拼装的 PC 轨道梁，既保证了轨道几何线位的精度又便于工程施工，从而可缩短工期，其工程建设期一般为 2~3 年。跨座式单轨交通工程造价较地铁工程有明显优势（为地铁造价的 1/2~1/3）。跨座式单轨轨道梁制作及架设如图 1.1-9 所示。

(4) 安全、舒适，具有旅游观光效果。

跨座式单轨交通车辆（见图 1.1-10）采用特殊转向架骑跨在轨道结构上，保证其安全运行，没有脱轨的危险。同时，由于车辆采用橡胶轮胎并带有空气弹簧减振构造，故较其他制式的轨道交通乘坐舒适性更好。单轨大部分是高架结构，视野宽广、眺望条件好，特别是在城市中运行时，乘客可观光景色和市容。所以，它既是安全舒适的交通工具，又能起到游览观光的作用。

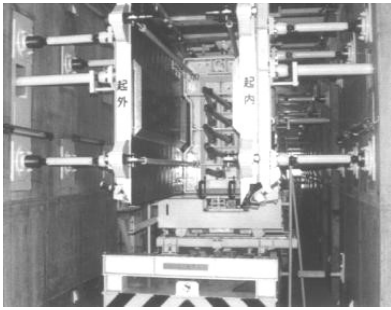


图 1.1-9 跨座式单轨轨道梁制作及架设



图 1.1-10 跨座式单轨旅游观光

(5) 环境影响小。

跨座式单轨车辆一般采用橡胶轮车轮，其噪声与振动能很好地满足环境要求。当行车速度为 60 km/h 时，距轨道中心 10 m，离地面高 1.2 m 处，测得噪声值为 74 dB (A)。由于噪声、振动小，所以跨座式单轨线路走向灵活，可从人口密集地区的高空中穿过，甚至从建筑物内部穿过，且对人们的日常生活几乎不产生影响，跨座式单轨线路运用实例如图 1.1-11 所示。



图 1.1-11 跨座式单轨线路运用实例