

# 现代缆索动力轨道交通系统特点研究

肖阳俊, 李拥军, 王维, 徐志荣

(中车南京浦镇车辆有限公司, 南京 210031)

**摘要:**介绍了现代缆索动力轨道交通发展、原理和技术特征,系统地比较了现代缆索动力轨道交通与传统轨道交通地铁、轻轨等的特点。从系统成本和运营角度研究了建设缆索动力交通系统的优势。

**关键词:**Cable car(缆索动力车辆); APM(自动乘客系统);城市交通运输

中图分类号:U 239.1

文献标志码:A

文章编号:1002-2333(2017)10-0114-03

## 0 引言

缆索动力轨道交通系统是指使用轨道车辆,通过轮盘机以一定速度连续传动的缆索拖曳缆车或铁道车辆,来运输旅客的一种大规模旅客传输系统<sup>[1]</sup>。车辆的启动和停止都可以通过拖曳和松开缆索来实现。缆索动力的车辆分很多种,有胶轮车、缆车、有轨铁路等等,它们共同的特征就是以缆索为动力源。可以通过手动或装置自动将线缆动力施加到车辆上。

缆索动力轨道交通系统历史悠久,随着新技术发展,缆索轨道交通已经进化为自动旅客输送系统(APM系统)的一种,具有技术简单可靠、系统成本低、自动化程度高、节能环保等特点<sup>[6]</sup>。最早缆线牵引的铁路于1840年出

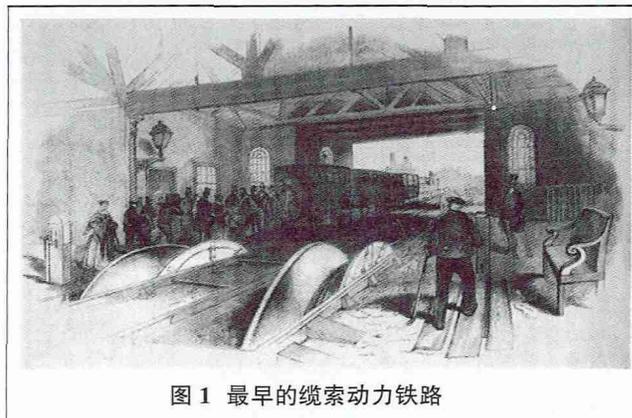


图1 最早的缆索动力铁路

现在英国,当时位于伦敦和布莱克沃(black Wall)的铁路,采用了一种缆索牵引和利用车辆上的铁爪固定的技术。但是受限于早期技术不过关,当时的线缆质量差,这种技术很快被淘汰<sup>[2]</sup>。

20世纪60~70年代,缆索动力交通在西方得到了飞速发展,对缆索动力交通的研究和应用进入了第二阶段,这个时期欧美许多地方较现代化的缆索轨道交通系统工程得到实施<sup>[7]</sup>。

由早期缆车索道技术基础发展起来的现代缆索动力轨道交通系统,完全摆脱了普通缆车索道的运行速度低、

基金项目:南京地铁一号线自主知识产权国产化地铁列车工程项目;科技部火炬计划基金项目(2007GH040538);江苏省科技成果转化基金项目(BA2007004)

车辆无动力不能自动运行、索道的缆索垂度大,以及难于通过弯道等低技术水平状态<sup>[9]</sup>。该系统与普通缆车外形有相似之处,但是技术内涵、功能特性、应用的新技术、自动化程度,都全方位超越了后者。

## 1 研究现状

经过近100a的技术发展和经验积累,经过二战后几十年的发展,尤其是本世纪,各种新技术的应用,符合APM(Auto Passenger Mover)系统标准和规范的APM概念,现代化的缆索动力轨道交通系统实现了全自动化,无人驾驶。完全实现自动化、无人化的乘客运输系统如图2。目前国外对缆索动力轨道交通系统无论在理论研究还是在应用方面都非常深入。发达国家为了节约城市建设资

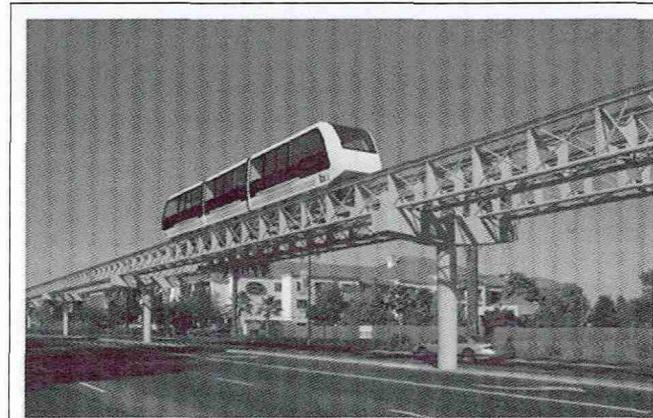


图2 现代缆索动力轨道交通系统

金,加上人口密度低,廉价的缆索动力轨道交通系统成为不错的选择,因此应用较广。而国内对于缆索动力轨道交通系统还不够重视,相关研究很少,论文数量很少,并且缺乏实际项目应用支持。

因此研究现代缆索动力轨道交通系统的特点,并根据各城市的应用场景,进行推广,有着重要意义。

## 2 技术原理

现代缆索动力轨道交通系统由动力驱动装置、车辆、支撑结构、控制系统、通讯系统等部分组成。

由图3可见,整个线路建设在以钢结构或混凝土高架架上,中心设置一个动力源及驱动轮机(Driver),线路构成类似于地铁和轻轨。

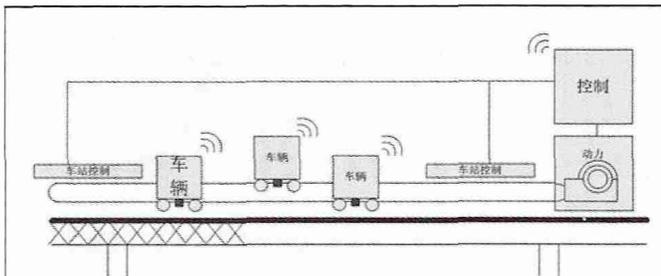


图3 系统简化原理图

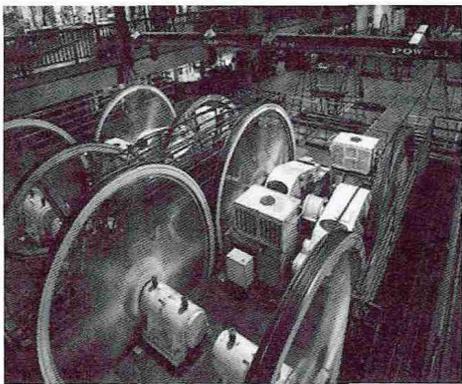


图4 为缆索系统提供动力的动力室

缆索依靠位于缆索房或动力房的固定驱动电动机或引擎带动。当缆索持续移动时,速度可以根据夹在动力缆索上的单元数量多少来定<sup>[3]</sup>。

当车辆上一个类似套抓的夹具夹住动力绳上时,缆车开始移动(见图5)。相反,当这个夹持设备松开缆索时,车辆开始制动,并最终停稳。利用车辆上的夹具,缆索能够实现所有的基本功能,如牵引、加速、减速、制动。夹持和松开动作可以是手动,也可以是自动化。为了乘客的舒适性,防止加速度过快,夹持动作必须保证是一种渐进过程。在车辆的转向架上还有一系二系的悬挂装置,以减轻冲击。

缆索动力交通系统一般采用柔性复合索轨,索轨由2根并列的缆索上部覆盖槽形铝合金轨道板构成<sup>[4]</sup>,可以架设在钢结构或混凝土地面。由于轨道板侧面平滑,车辆也可以利用导向轮进行导向。而不用缆索滑轮进行导向。轨道之间的导向轮和导向装置见图5。在弯曲段或车站区域,可采用硬度更高的钢板。车站区段采用刚性硬轨来保证车辆在站内平稳停靠<sup>[4]</sup>。

车轮一般采用充气式胶轮,见图6。胶轮能很好地减震,同时爬坡能力强,适合弯道和坡度大的环境下。在车辆转向架底部安装有导向轮。车辆使用橡胶轮行驶在混凝土或钢结构高架桥上。导向轮负责车辆的转向,并具有防止脱轨功能。采用充气橡胶轮能够提供车辆的爬坡能力和行驶的平稳度,增加乘客的舒适度。一般不采用钢轮,是因为钢轮的摩擦因数小,不利于紧急情况下的制动。典型线路基本参数如表1所示,能够满足中小运量的客流需求。

### 3 系统结构及技术特点

现代缆索动力 APM 系统的系统结构非常简单,可以根据业主要求定制。全线车辆动力由中央动力室提供。通过动力室的中央监控室即可监测整个线路的运营情况。

固定马达和紧急备用马达保证了故障车辆能够很容易地回到车站维修和安全清空。线缆技术高效牵引解决方案能够提供简单的能量分配,而不用像地铁和轻轨那样复杂的配电所和不需要高

表1 典型的缆索动力轨道交通系统配置<sup>[3]</sup>

项目	参数
线路长度/m	5100
配置	双向双索道循环
运营速度/(km·h <sup>-1</sup> )	47(13 m/s)
间隔时间/s	280
停站/s	58
导向轨道	高架钢结构轨道
系统运能/pphpd	最大 1900
车站数量	3~5
车辆数	4列4节编组列车
车辆乘客数(4节编组)	最大每节148名乘客

功率的牵引变电站。这样车辆上不用复杂的车载设备,如牵引电动机、逆变器、齿轮箱和制动器等,地面上也不需要复杂的供电设备和信号系统设备。

由于设备简单,很少的车辆设备和轨旁设备,保证了系统的失效率小,自动化程度高,车辆的起动、行驶、到站停车,对位开门等一系列自动化过程完全不需要有人控制,由控制中心的计算机调度,这一特点类似地铁信号系统的ATO自动驾驶控制模式。

### 4 与其他城市交通运输系统比较

#### 4.1 优点

1)工程结构简单,土建施工速度快。车辆行走的索轨钢架结构、悬吊索轨的缆索、动力驱动装置,其主要部件均可在工厂生产,现场组装。钢架结构没有任何特殊设计要求,所以缆索轨道交通建设速度很快<sup>[5]</sup>。

2)地面子系统少,对比常见的地铁轻轨系统(车辆、供电、信号、通信等十几个子系统)。只包含车辆、通信、动力等较少系统。

表2 与传统轨道交通的特点比较

参数	轻轨	地铁	APM cable car
运能/pphpd	10 000~20 000	50 000~70 000	3000~6000
节能	较高	高	效率极高
成本造价/(亿元·km <sup>-1</sup> )	3~5	5~8	<0.8
运营成本	高	极高	极低
路权	专有或混合路权	专有路权	高架
系统复杂程度	较复杂	复杂	简单
能耗	较高	高	低
电气系统数量	多	极多	极少
基础建设	高架/地面	地下/地面/高架	钢结构或混凝土高架/地面
转弯半径	较小	大	小
对周边环境影响	较大	前期建设影响大	很小
发车间隔	较短	短	短
控制系统	复杂	极为复杂	简单
车站数量	较多	多	少

说明 pphpd=passengers per hour per direction 每小时单方向输送乘客数量。

3)缆索动力系统车辆极为简化,省下价格昂贵的牵引系统及车辆电气,成本极大降低,也便于日常维护和检修。以下是与其他类型轨道交通各项成本比较。

由于相关系统少,制造可以标准化,线路设计模块化,尤其是采用高架模块化建设,节省了土建费用,非常适合土

地资源稀缺的商业中心。投资费用低 环境友好 可以实现零排放,这样可以节约巨量的建设费用。尤其适合特殊场合下,国内中小城市中小运量的交通模式。

3)自动化程度高,完全实现无人驾驶和控制,只需要设置中央监控室。极大地减少了人力成本。

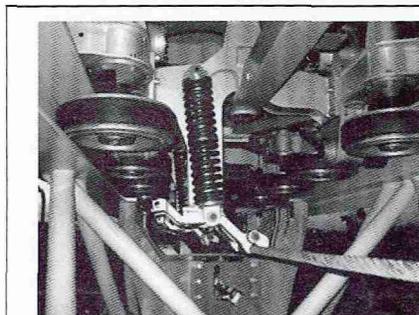


图5 车辆底部的缆索夹具



图6 车辆转向架及导向轮及集电设备



图7 索轨的弯道转向装置

4)索轨交通能够爬大坡、拐小弯,可用于城市和各类地形特殊的地区<sup>[9]</sup>。特别适合以下区域:如繁华城市的重点区域、山区景区、江河湖畔等条件复杂地区观光旅游。如东北雨雪天气下,山区景点的观光旅游;或城市核心商业区观光旅游点之间的串联<sup>[7]</sup>。

5)索轨交通的驱动和走行系统产生的噪声都很小。城市环境影响很小。索轨交

装置的结构复杂。类似的跨坐式单轨、空轨、磁悬浮等交通模式都存在这样的问题。一旦车辆选择不同的进路,道岔转换准备时间长,需要完成解锁、位移和锁闭等步骤。而且装置的通用性差,进一步降低了索轨交通的运能和通行效率。6)由于多采用高架,因此故障救援会较困难。

## 5 结论

简单系统就意味着系统故障率小、可靠性高,意味着成本低、维护性高。虽然缆线技术原理简单,但是利用最新控制技术、计算机技术、自动化技术装备的交通运输系统给乘客带来了舒适性和便利。另外缆索牵引轨道交通系统带来的社会效益方面,也是显而易见,尤其是地铁轻轨建设的高昂建设费用,给地方财政带来巨大压力。缆索牵引动力轨道交通系统在成本方面的优势非常明显。

同样我们也应该看到缆索动力轨道交通的运量运力不足。轨道交通研究,也应该在此方向拓展。相信在不远的将来,缆线动力的 APM 系统作为大容量轨道交通的有益补充,一定能在适合的地方为城市交通增添活力。

### [参考文献]

- [1] Cable car (railway)[EB/OL].(2017-01-02)[2017-02-21]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cable\\_car\\_\(railway\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cable_car_(railway)).
- [2] ANDREW R.Blackwall Railway Machinery[M]/The Civil engineer and architect's journal.New York: Wiley & Putnam,1848.
- [3] Doppelmayr. Doppelmayr Cable Car[Z].2009-10-22.
- [4] 王忠杰,任利惠.新型城市轨道交通系统及其性能特征[J].装备制造,2012(2):66-72.
- [5] 刁心宏.城市轨道交通概论[M].北京:中国铁道出版社,2009.
- [6] 孙章,何宗华,徐金祥.城市轨道交通概论[M].北京:中国铁道出版社,2000.
- [7] 周庆瑞.索轨交通(续)[J].都市快轨交通,2004,17(5):60-63.
- [8] 孔令洋.城市轨道交通系统型式选择研究[D].北京:北京交通大学,2009.
- [9] 刘永星,元元,赵传允.广州旅客自动输送线专用道岔的试制[J].城市轨道交通研究,2014,17(6):126-128.
- [10] 李锐,李明洋,周业明,等.自转向车桥自动旅客输送系统车辆及其动力学性能[J].城市轨道交通研究,2016,19(11):38-42.
- [11] 张琦.新型轨道交通系统在上海的适用性分析[J].交通与运输(学术版),2013(增刊2):101-104.
- [12] 宋丹.新型轨道交通信号系统展望[J].铁路通信信号工程技术,2013,10(3):62-63.
- [13] 黄敏恩.轨道交通枢纽城市综合体规划探索[J].规划师,2014(6):64-69.
- [14] 李东屹.新型轨道交通捷运系统在郊区新城中的适应性分析——以上海临港新城为例[J].交通与运输,2011,27(5):51-53.
- [15] 康文峰,李苍楠,王涛.现代新型城市轨道交通系统浅析[J].现代交通技术,2012,9(6):82-85.
- [16] 夏赞鸥.庞巴迪单轨关键技术的改进与革新[J].现代城市轨道交通,2016(2):96-99.
- [17] 周宇文,何慧芳.广州珠江新城旅客自动输送系统列车控制简介[J].广东科技,2010,19(10):40-42.

(编辑 明涛)

作者简介: 肖阳俊(1980—)男,硕士,高级工程师,从事轨道交通车辆电气及地面机电系统研究工作。

收稿日期 2017-02-21

表3 与传统轨道交通的成本比较

参数	中低速磁悬浮	有轨电车	动力胶轮车	缆索动力系统
土建成本	高	中	高	低
车辆成本	高	较高	较高	较低
地面机电系统成本	极高	高	高	较低
运营成本	很高	高	高	较低
LCC 全寿命周期成本	很高	高	高	较低

通采用电力驱动,不会产生废气污染大气。

6)灵活性大,易于扩建和移迁。索轨交通构造简单,施工简便、速度快,干扰少,易于扩建和移迁。

## 4.2 缺点

1)载客量少,运能有限,突发客流应对能力不足。车辆灵活编组不足,系统扩充能力不足。不适合线路长、客流量大的情况。2)采用集中动力驱动,因此动力室的设备可靠性要求非常高。3)系统故障模式容易导致全线瘫痪。4)雷雨天气需要考虑特殊防雷。5)类似道岔的线路换线