

有轨电车系统规划设计研究

Streetcar System Planning and Design

张子栋

(中国城市规划设计研究院,北京 100037)

Zhang Zidong

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

摘要: 当前中国有轨电车系统的规划与设计缺少相应的技术规范 and 标准,规划设计的方法和内容主要参照地铁、轻轨系统开展,而有轨电车系统特征、功能特性及相关技术标准与地铁、轻轨系统存在较大差异。首先明确有轨电车系统的内涵,由此提出其规划设计的基本思路。在此基础上探讨有轨电车系统的功能定位及适用性,并针对不同功能提出相应的网络布局要点;详细阐述有轨电车系统的线路、车站和沿线道路设施的规划设计要点。

Abstract: Due to the lack of related specification and standard for streetcar system planning and design in China, the existing streetcar planning and design methodologies and content mainly reference to subway and rail transit. However, the characteristics of streetcar system, functionalities and related technology standard are quite different from subway and rail transit system. This paper first introduces the concept of streetcar system and presents the basic planning and design scheme. Through analyzing the functionalities and applicability of streetcar system, the paper presents key aspects of streetcar network layout corresponding to different functionalities. The paper also elaborates streetcar planning and design in several aspects: routes, stops, and road facilities along streetcar routes.

关键词: 城市轨道交通;有轨电车;规划设计;功能定位;网络布局;交通工程设计

Keywords: urban rail transit; streetcar; planning and design; functionalities; network layout; traffic engineering design

中图分类号: U482.1

文献标识码: A

收稿日期: 2013-06-17

作者简介: 张子栋(1975—),男,河南南阳人,硕士,高级工程师,城市交通专业研究院轨道交通研究所副所长,主要研究方向:轨道交通及道路交通。E-mail:zzd_mail@163.com

有轨电车是一种古老的公共交通工具,其悠久的历史甚至超过了公共汽车和地铁。二战后随着小汽车的发展,有轨电车在城市道路的路权之争中逐渐衰败。然而,20世纪90年代,欧洲许多城市的有轨电车以现代化、环保、充满人性化的崭新形象开始复兴,这也引起中国各城市的广泛关注和研究。中国一些城市如天津、上海、沈阳、珠海、大连等,也在积极规划、设计和建设有轨电车系统。而当前中国有轨电车系统的规划与设计缺少相应的技术规范 and 标准,其规划设计的方法和内容主要参照地铁、轻轨系统开展。有轨电车虽然属于城市轨道交通的范畴,但其系统特征、功能特性以及相关技术标准与地铁、轻轨系统存在较大差异,因此,有必要对有轨电车系统规划设计要素进行研究和总结,以便更深入地认识有轨电车并促进其在中国城市健康发展。

1 有轨电车系统的内涵

当前针对有轨电车系统的认识无论是在学术界还是在规划设计领域仍然存在很多分歧,分歧的核心是其与轻轨系统的差异性。

中国发布的《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)对有轨电车和轻轨系统给予了明确的定义:“有轨电车是一种低运量的城市轨道交通,电车轨道主要铺设在城市

道路路面上，车辆与其他地面交通混合运行，根据街道条件可分为三种情况：混合车道；半封闭专用车道；全封闭专用车道”^[1]；“轻轨系统是一种中运量的轨道运输系统，主要在城市地面或高架桥运行，线路采用地面专用轨道或高架轨道，遇繁华街区，也可进入地下或与地铁接轨”^[1]。

国外现存典型有轨电车系统与轻轨系统在车辆、设施和运营特性等方面虽然界线模糊，但还是有明显的差异^[2]。国外有轨电车系统一般为人工驾驶，在车上进行收费，采用低地板的车辆和低站台的开放式车站；车辆长度14~35 m，定员100~250人·辆⁻¹，独立路权比例为0%~40%，平均站间距250~500 m，平均旅行速度12~20 km·h⁻¹，高峰最大发车频率60~120列·h⁻¹(共线段)，客运能力0.4~1.5万人次·h⁻¹。而轻轨系统既有人工驾驶也有信号控制方式，在收费上也有车上和车站两种方式，在车辆和车站方面除了采用低地板的车辆和低站台的开放式车站之外，还有高地板的车辆和高站台的封闭式车站；车辆长度14~54 m，定员100~350人·辆⁻¹，独立路权比例为40%~90%，平均站间距350~1 600 m，平均旅行速度18~50 km·h⁻¹，高峰最大发车频率40~90列·h⁻¹(共线段)，客运能力0.6~2.0万人次·h⁻¹。轻轨系统的指标除了发车频率之外总体上比有轨电车系统要高，也存在相互交叉重叠。

由此可见，有轨电车系统是一种地面线路为主、人工驾驶、简易站台、旅行速度较低的低运量城市轨道交通系统，这样的特征决定了有轨电车系统建设和运营成本较低，同时其运营模式和交通特征具有道路交通的属性。这些系统特征也决定了其功能定位，决定其不同城市、不同地区的适用性，并最终决定规划和设计的要素。

2 规划设计基本思路

有轨电车系统与地铁系统、轻轨系统规划设计具有相同的技术流程和内容，但同时由于路面行驶、人工驾驶等特性使其规划设计又与快速公交、常规公共汽(电)车具有很多相似之处。因此，有轨电车系统规划设计的基本思路在与地铁、轻轨系统存在共性的基础上又有其特殊之

处，主要体现在以下方面：

- 1) 总体上应满足系统特征和功能定位的要求；
- 2) 网络布局应兼顾目标导向和需求导向，以功能定位为基础，综合协调与其他客运交通方式的关系，并考虑运营组织和线路组合对网络布局的影响；
- 3) 线路应以适应道路环境条件和塑造地区形象为目标，与城市道路规划设计相结合，重点研究和确定线路路权、车道布设形式及其主要技术标准等内容；
- 4) 车站应与周边的交通组织、人文环境和建筑物相结合，以简易实用为原则，重点研究和确定车站布局、布设形式、功能及其技术标准等内容；
- 5) 沿线交通组织规划和交通工程设计是其规划与设计的主要内容，应重点研究和确定有轨电车与机动车、非机动车以及行人的关系。

本文重点探讨有轨电车系统与地铁系统、轻轨系统规划设计的差异性内容，而对于共性的内容不在研究范围之内。

3 功能定位

有轨电车系统的功能定位研究，即分析在不同城市、不同区域和不同交通走廊有轨电车系统与城市其他客运系统(如地铁、轻轨、BRT、公共汽(电)车)的分工与合作关系，从而明确有轨电车系统在城市客运系统中的地位和作用，是决定其规划设计的首要要素。

文献[3-6]对国内外有轨电车系统的功能定位进行了深入分析，总结得出有轨电车主要发挥以下四种功能和作用：

- 1) 承担大运量轨道交通系统的补充、加密及接驳功能。一般布局在大城市，典型城市为法国巴黎、西班牙巴塞罗那等。
- 2) 承担城市客运系统的主体或骨干。一般布局在中小城市，典型城市为澳大利亚墨尔本、瑞典哥德堡、法国波尔多等。
- 3) 承担城市特定功能区或特定走廊客运系统的骨干。典型城市和地区为伦敦克罗伊登区(Croydon)、美国圣迭戈、天津泰达开发区、上海张江开发区等。

4) 承担城市特殊功能的有轨电车系统。例如北京市规划建设具有旅游观光功能的西郊线。

可以看出,有轨电车系统在国外应用较为广泛,中国也开始积极尝试和探索。从长远来看,有轨电车在中国城市的复兴也是必然。但是,中国城市交通发展的阶段和特征与国外城市相比差异很大。中国正处于城镇化和机动化快速发展时期,在相当长的时期内城市交通面临的首要问题是采取何种手段经济、高效地满足居民出行需求和缓解交通拥堵,与轻轨、快速公交及常规公共汽(电)车相比,有轨电车系统在技术和经济上没有任何优势,从某种意义上讲有轨电车是一种“奢侈品”;同时中国城市道路交通方式多样复杂、交通管理滞后,而有轨电车缺乏相关法规标准、运营安全风险大,这些因素也制约了有轨电车在中国城市的广泛应用。

因此,当前中国有轨电车系统规划、设计和建设更多地是满足上述第三种和第四种功能,即经济发达城市的特定功能区、特定走廊及特殊功能的有轨电车系统应用,而对于第一种和第二种功能仅限于规划控制以及示范应用;同时也应该看到,有轨电车系统规划设计不应只侧重于解决交通问题,更重要的是塑造地区环境、提升地区吸引力以及提高公共交通竞争力。

4 网络布局

不同功能定位的有轨电车系统,其网络布局的目标、原则和方法不尽相同,有时甚至相差甚远。

1) 第一种功能定位的有轨电车网络布局必须与其他公共交通系统(特别是地铁和轻轨)统筹考虑,根据有轨电车的系统特征,以研究有轨电车在多层次、多等级公共交通系统中的地位和作用为基础进行网络布局。在这种情况下,有轨电车网络布局是从属性的,是在上层次轨道交通网络布局的基础上进行的。

2) 第二种功能定位的有轨电车网络布局与现行城市轨道交通网络布局的方法基本相同,但其布局目标和原则有差异。这一网络应着重研究有轨电车的路面交通系统特征对整个有轨电车网络

布局的影响,同时深入分析道路交通条件、研究运营组织模式和评估网络布局对城市道路交通的影响。

3) 第三种功能定位的有轨电车网络布局应以塑造地区环境形象、提高公共交通吸引力和竞争力为目标,并与地区步行和自行车交通系统组织、机动车交通组织相结合进行网络布局,最终形成亲人、易达、高服务水平的有轨电车网络。

4) 第四种功能定位的有轨电车网络布局应以其特殊功能(如旅游观光)为目标,在深入分析需求特征、气候条件、环境条件、人文条件的基础上进行布局。

另外,有轨电车特有的系统特征(如以供应为导向以及人工驾驶)使其运营组织模式更为灵活,从而为线路共线和设置支线等组合模式提供可能,而这一点也直接影响有轨电车系统的网络布局。线路组合模式的有轨电车系统网络布局在国外特别是欧洲得到了普遍应用,例如法国尼斯市的有轨电车网络(见图1),1号线有4条支线,2号线和3号线在中心城区共线,这也将是中国有轨电车网络布局方法的发展方向。

5 线路规划与设计

5.1 路权选择

参照美国交通运输研究委员会(Transportation Research Board, TRB)对北美轻轨(Light Rail Transit, LRT)路权的分类(见表1),可以将有轨电车的路权分为3个级别^[7]:完全独立路权、半独立路权和混合路权。但实际情况是,一条有轨电车线路往往可划分为多个路权形式不同的区间,其中有的区间路权等级较低,与多种交通方式混行,而有的区间路权等级较高,甚至达到独立路权的标准。

有轨电车三类路权具有各自特点,适用范围也不同,如表2所示。有轨电车线路一般以半独立路权为主,为了保障行车安全,在道路平面交叉口处应采取必要的信号优先和限速措施;同时,对于后两种功能定位的有轨电车线路可以结合公交专用车道、步行街及其他特殊地区使用混合路权(这里主要指与行人或公共汽车混合路

有轨电车车道。

5.3.3 轨道工程

有轨电车轨道是城市景观的组成部分，因此轨道形式的选择除提供必要功能外，还应与城市景观相结合。有轨电车轨道要综合考虑路权形式、区域特性、景观生态、经济效益等因素，并有足够强度承载列车行驶。有轨电车轨道包括有砟轨道、无砟轨道、埋入式、植草式等形式。其中，埋入式轨道是为配合有轨电车与其他路面交通方式混合路权而设计，其轨道平面与道路路面同高，可使其他交通方式顺利通过；植草式轨道主要是为配合景观生态及绿化而设计，主要是无砟轨道配以隔框以及种植草种于轨道区，对草种有特殊要求。

5.3.4 排水设施

有轨电车系统的排水设计应依照城市道路及周边设施的设计标准

统筹考虑，对于夏季雨量较大的地区应更加重视。排水标准依路权形式而异，应综合考虑系统稳定度、设备与乘客服务指标及道路排水规定等。半独立路权和完全独立路权，应依照系统特性采用适当的防洪标准并加一特定高度为土建设计基准；混合路权应在轨道外侧设置适当的截水及排水设施。

5.3.5 管线设施

管线设施包括路权范围内的各种市政管线以及容纳各种管线的管沟。有轨电车轨道下方的管线，应与有轨电车系统适当隔离，并应方便维修；管线或管沟必须能承受有轨电车系统的载重，以免影响有轨电车系统的正常运营和运营安全。

5.3.6 载重设计

有轨电车系统路线结构形式有路面、桥涵以及局部的高架段、隧道或路堑等，设计时应考虑相关规范的要求，有轨电车的载重选择应以不超过道路结构的设计载重标准为原则。

表2 有轨电车路权的适用范围

Tab.2 Applicability of different streetcar right-of-way

路权分类	应用条件	适用范围
完全独立路权	与道路立体交叉； 一般不应有其他交通方式与线路并行	适用于前三种功能定位的线路； 仅在特殊情况下特殊路段使用，路段所占比例很低
半独立路权	路段较为严格的隔离措施； 道路交叉口信号优先措施	适用于四种功能定位的线路； 大多数城市干路
混合路权	线路上的其他交通方式流量较小； 沿线有公共汽车运营，且车站能力富裕	适用于后两种功能定位的线路； 城市次干路及支路； 商业步行街、休闲区以及公交专用车道

表3 有轨电车车道布设形式及优缺点

Tab.3 Different streetcar lane design and advantages/disadvantages

布设形式	优点	缺点
道路中央	有利于车辆路边临时停车、上下车及货物装卸； 不影响沿线建筑车辆出入及右转车流； 道路交叉口处与其他车辆冲突点较少，车流组织较易处理	对左转车流的干扰较大，须配合采取特殊措施； 乘客须穿越车道，安全及便利性较差
机非车道间	有利于车辆路边临时停车、上下车及货物装卸； 可将机非车道隔离带设计为站台，减少道路使用面积； 对非机动车道车辆影响较小	对快车道车辆影响较大； 乘客须穿越慢车道，安全及便利性较差
路侧(两侧)	可利用人行道作为乘客乘降处，对乘客较为便利且安全； 站台可设置于人行道，不占用道路空间； 符合居民使用道路的习惯，可减少路边违章停车	严重影响道路的左右转车流及横向车流进出交叉口； 影响车辆路边临时停车、上下车及货物装卸； 对行驶于路侧的车辆及自行车的安全性影响较大
路侧(单侧)	站台可设置于人行道，不占用道路空间； 可减少路边违章停车	同布设于路侧(两侧)的情形； 轨道车道与道路车道行驶方向相反，安全性降低； 有一方向乘客须穿越慢车道，安全及便利性较差

6 车站规划与设计

6.1 站间距

有轨电车系统的站间距应根据其系统特性、功能定位、运营绩效综合确定。一般而言，有轨电车系统站间距为300~800 m，具体站间距根据车站功能、城市规模、城市区位、地区开发密

度有所不同。特殊功能有轨电车系统的站间距可能超出此范围。

6.2 布设形式

有轨电车车站沿道路横向布设可分为岛式车站和侧式车站。机非车道间、路侧(两侧)布设的有轨电车线路可采用侧式车站，而道路中央、路侧(单侧)布设的有轨电车线路，既可以采用侧式车站也可以采用岛式车站。

从沿道路纵向的位置关系来看，有轨电车车站又可分为路中式车站和路端式车站。根据车站在交叉口的设置方式，路端式车站分为近端(进口处设站)和远端(出口处设站)两种形式。综合而言，有轨电车车站共分为4种路中式车站和14种路端式车站的布设形式^[8]。图2为道路中央布设线路情况下的路端式车站的布设形式。可以说，有轨电车车站的设置形式众多，文献[8]对其进行比较分析，从效率方面总结不同交通状况下的建议

车站形式(见表4)，供规划设计参考。

6.3 功能及设计

有轨电车车站的基本功能是供列车停靠，并通过标志指示其位置、标示站名、提供路线图与时刻表，设置站台、提供遮雨棚，可考虑提供座椅(见图3)，确保乘客进出站台、购票、上下车的安全、舒适、快捷。车站除了保证乘客集散外，还需确保列车高效、安全的运行。此外，车站应以结构简易、无人管理为设计目标，同时与其他交通方式有效衔接，以方便乘客换乘。

有轨电车站台长度应以列车总长为依据并考虑必要的附加长度设定，一般情况下，附加长度约为0.3 m，可根据实际情况调整。岛式站台最小宽度为2.0 m，侧式站台最小宽度为1.5 m，并根据车站功能及乘降量确定最终宽度。同时要充分考虑老、弱、病、残、幼的需求，站台与有轨电车内底盘的高度应尽量一致，站台边缘与有轨

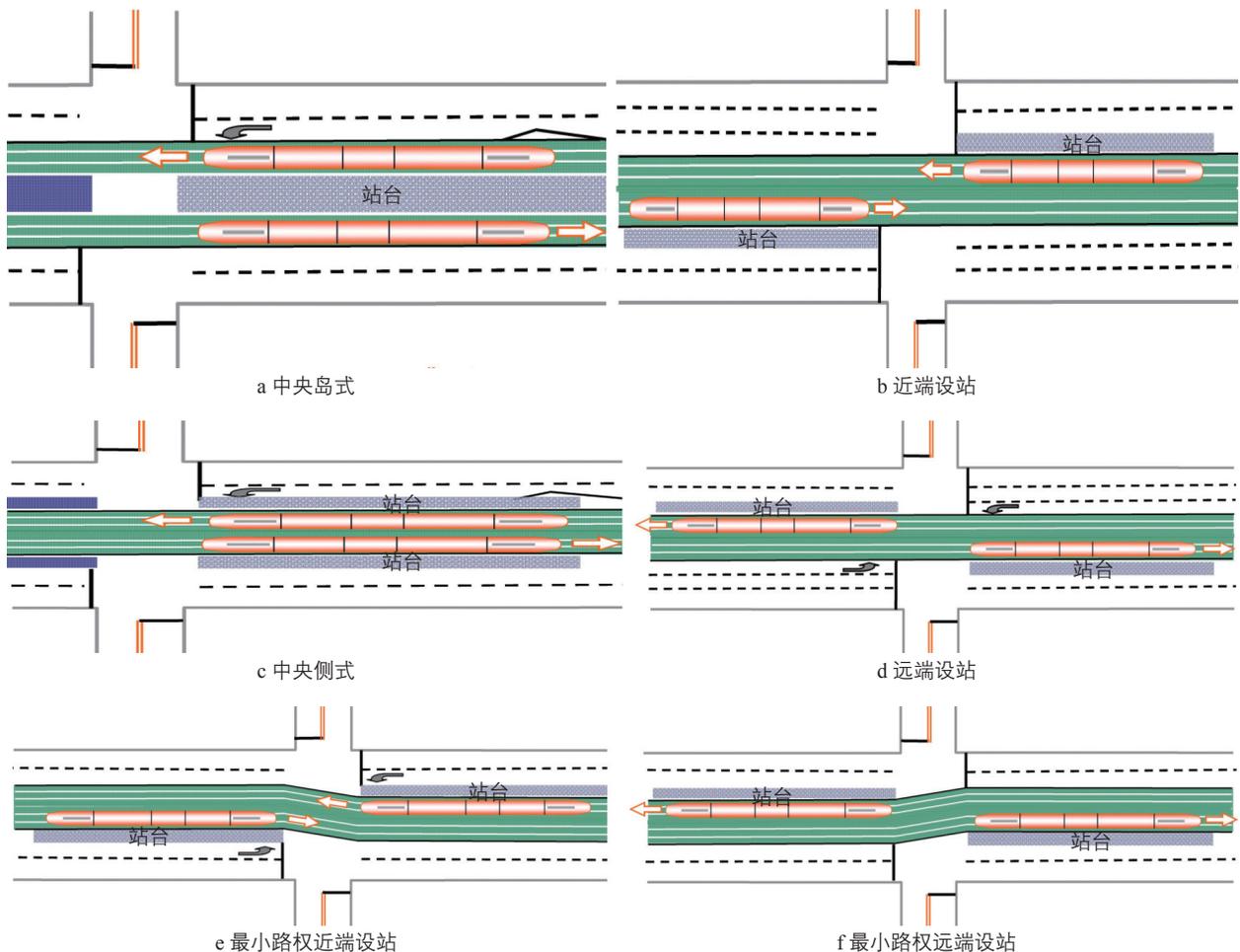


图2 道路中央布设的路端式车站形式

Fig.2 Streetcar stops located at the roadway median

电车车门边缘的间距应尽量缩小，以符合人性化空间设计的理念。

7 交通工程设计

7.1 道路交叉口

有轨电车系统的交通工程设计重点在于道路平面交叉口。有轨电车在交叉口与其他车辆可能产生侧撞、交叉撞、对撞、擦撞及追撞等事故类型，因此必须通过交通工程设施加以管理、控制、改善或消除，以达到安全运营的目的。

有轨电车路线的交叉口信号控制方式一般可分为3种^[7]：完全信号优先、部分信号优先和无信号优先，如表5所示。除了完全独立路权采用完全分隔处理不适用上述交叉口控制外，半独立路权可采用完全信号优先或部分信号优先的控制方式，混合路权可采用无信号优先的控制方式。应

当注意，前两种优先控制方式必须设置必要的标志、标线为驾驶人提供足够的驾驶信息，避免产生混乱。

除信号控制方式之外，根据有轨电车系统布设道路的不同位置，交叉口信号配置也有区别。

1) 布设于道路中央。左转车流依交叉口左转信号左转(有轨电车车辆宜设置独立分相信号)，自行车(含电动自行车)至左转待转区等待，当信号变化时左转；右转车流依交叉口右转信号右转。

2) 布设于道路两侧。左转车流依交叉口左转信号左转(有轨电车车辆宜设置独立分相信号)，自行车(含电动自行车)禁止直接左转，需采用二次过街完成左转；右转车流依交叉口右转信号右转(有轨电车车辆宜设置独立分相信号)。

3) 布设于机非车道间。一般依交叉口信号控制处理，左转(右转)车流依交叉口左转(右转)信号左转(右转)，有轨电车车辆设置独立分相信号。

表4 不同交通状况下的建议车站形式

Tab.4 Suggested stop design under different traffic conditions

路面宽度/m	车站至交叉口的距离/m	发车间隔/min	同向车流流量/(辆·h ⁻¹ ·车道 ⁻¹)					
			400	600	800	1 000	1 200	1 400
14	0	1	SD ¹⁾	SD	SD	SD	SD	PS ²⁾
21	0	1	CD ³⁾	CD	CD	CD	CD	CD
21	0	3	FSS ⁴⁾	CC ⁵⁾	CC	CC	CC	PS
21	0	5	CC	CC	CC	MFSS ⁶⁾	MFSS	MFSS
21	20	1	FS ⁷⁾	FS	PS	PS	PS	PS
21	50	1	PC ⁸⁾	FSS	PS	PS	PS	PS
21	80	1	NS ⁹⁾	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS
28	0	1	CD	CD	CD	CD	CD	CD

1)路侧侧式(站台设在行车道);2)路缘侧式(站台设在人行道);3)中央专用形式;4)远端侧式;5)中央岛式;6)最小路权远端侧式;7)远端设站;8)路缘岛式;9)近端设站。



图3 法国里昂市有轨电车车站
Fig.3 Streetcar stops in Lyon, France

表5 不同信号控制方式的特点和适用范围

Tab.5 Characteristics and applicability of different signal control modes

项目	完全信号优先	部分信号优先	无信号优先
对横向道路车辆的影响	延误较大	有一定延误	无特殊影响
平均旅行速度/(km·h ⁻¹)	20~30	17~25	15~20
实现条件	较复杂	复杂	容易
适用范围	交通量较小的交叉口,且横向道路等级较低	线路与城市部分主干路以及大多数次干路、支路的交叉口	线路与城市主干路的交叉口,横向道路进口道接近饱和;线路混合路权

总之，道路平面交叉口应以有轨电车车辆优先通行原则进行信号控制及各类车道配置的整合设计，以降低有轨电车车流与道路车流的冲突，提高服务效率。

7.2 隔离设施

半独立路权的有轨电车应考虑地区条件、人文环境及交通特性采用合适的隔离措施，例如路缘石、围篱、植树、护栏等，如图4所示；混合路权的有轨电车除应遵守《道路交通标志和标线》(GB 5768—2009)的相关规定外，应以明显标志标线、铺面或颜色区分有轨电车线路与一般道路的范围。

7.3 行人过街设施

行人过街设施直接影响有轨电车系统的运营安全。在混合路权的行人过街区域、半独立路权的平面交叉口及车站行人过街区域，应采取适当措施帮助行人平面过街。在混合路权的行人过街区域，路面应有缓冲设计及安全警示标志，见图5a。有轨电车平面交叉口的行人过街设施设置应与一般道路过街设施相同为原则，并配合《道路

交通标志和标线》(GB 5768—2009)等相关规定设置特别的行人过街设施，见图5b。路段应设置具有阻隔功能的行人过街设施，如旋转栅门(见图5c)或Z字形过街设施(见图5d)，并应设置行人专用信号及相关警示标志。

8 结语

有轨电车作为一种低运量的地面轨道交通系统，其规划设计的首要目标是满足系统特征和功能定位，同时应综合参考轨道交通、地面公共交通和道路交通的规划设计方法及相关技术标准，更重要的是，要研究有轨电车沿线的交通组织和交通工程设计的相关内容。在中国城市面临交通拥堵、环境污染和能源日益紧缺的形势下，有轨电车的发展越来越受到重视，合理的规划设计关系到其未来是否能可持续发展。本文对有轨电车规划设计中的功能定位、网络布局、线路设计、车站设计和交通工程设计等关键问题进行深入研究和探索，研究成果可应用于中国有轨电车系统相关政策法规和技术标准的制定。



a 路缘石和高差隔离



b 护栏隔离

图4 有轨电车系统隔离设施

Fig.4 Separate facilities of the streetcar system



图5 有轨电车系统行人过街设施

Fig.5 Pedestrian crossing facilities for streetcar system

参考文献:

References:

- [1] CJJ/T 114—2007 城市公共交通分类标准[S].
- [2] Vukan R Vuchic. Urban Transit Systems and Technology[M]. Hoboken: Wiley, 2007.
- [3] 卫超, 顾保南. 欧洲现代有轨电车的发展及其启示[J]. 城市轨道交通研究, 2008, 11(1): 11-14.
Wei Chao, Gu Baonan. The Typical Modern Tram Systems in Europe[J]. Urban Mass Transit, 2008, 11(1): 11-14.
- [4] Cornet N, 李依庆, 华凌晨. 现代化有轨电车系统在中国城市的发展前景[J]. 现代城市轨道交通, 2008(6): 60-62.
Cornet N, Li Yiqing, Hua Lingchen. Prospect of

- Modern Tramcar System in Chinese Cities[J]. Modern Urban Transit, 2008(6): 60-62.
- [5] 高继宇. 现代有轨电车行车组织设计相关问题分析[J]. 科技信息, 2011(32): 653-654.
- [6] 訾海波, 过秀成, 杨洁. 现代有轨电车应用模式及地区适用性研究[J]. 城市轨道交通研究, 2009, 12(2): 46-49.
Zi Haibo, Guo Qiucheng, Yang Jie. On the Application and Adaptability of Modern Tramcar [J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(2): 46-49.
- [7] 卫超. 现代有轨电车的适用性研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [8] 许添本. 轻轨与公交车捷运系统纳管之研析[R]. 台北: 交通部运输研究所, 2006.

(上接第23页)

- Xue Meigen, Yang Lifeng, Cheng Jie. Modern Trams: Characteristics & Development both at Home and Abroad[J]. Urban Transport of China, 2008, 6(6): 88-96.
- [3] CJJ/T 114—2007 城市公共交通分类标准[S].
- [4] 訾海波, 过秀成, 杨洁. 现代有轨电车应用模式及地区适用性研究[J]. 城市轨道交通研究,

- 2009, 12(2): 46-49.
- Zi Haibo, Guo Xiucheng, Yang Jie. On the Application and Adaptability of Modern Tram Car [J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(2): 46-49.
- [5] 程杰. 上海现代有轨电车发展规划[R]. 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2010.