

旅游轨道交通线路的行车组织方案研究

顾海艇¹ 吕永波² 任 远² 霍 颖¹

(1. 中铁第六勘察设计院集团有限公司, 300308, 天津; 2. 北京交通大学交通运输学院, 100044, 北京//第一作者, 工程师)

摘 要 悬挂式单轨系统作为一种设置灵活、占地少、建设快的制式,在国内旅游轨道交通中的应用前景较为广阔。旅游轨道交通的客流特征主要体现在客流时间分布、客流空间分布和客流需求特征上,由于线路功能与城市轨道交通截然不同,采用常规的行车组织设计方法不能较好满足客流需求。结合客流特征,研究旅游轨道交通的行车对数、列车运行交路、旅行速度的设计方法。最后以某景区旅游轨道交通为算例进行行车组织设计,以满足不同时期的旅游客流。该算例表明悬挂式单轨系统在旅游轨道交通中具有较强的适应性,为具体工程实施提供参考。

关键词 旅游轨道交通; 悬挂式单轨系统; 客流特征; 行车组织

中图分类号 U293.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.044

Study on Traffic Organization of Tourism Rail Transit Line

GU Haiting, LYU Yongbo, REN Yuan, HUO Ying

Abstract As a flexible, less land-occupation and fast-constructing system, suspension monorail has a broad application prospect in domestic tourism rail transit. The passenger flow characteristics of tourism rail transit distinguish in terms of temporal distribution, spatial distribution and demand characteristics. Since the line functionality is different from that of urban rail transit, the common method of traffic organization does not satisfy the demand well. Considering the passenger flow characteristics, the design methods of three major elements in tourist rail transit, the number of train pairs, train routings and travel speed are studied. Finally, the case study of a tourism rail transit is provided to explain the traffic organization design, which suits the tourist flow in different periods. Results show that suspension monorail system is highly adaptable in tourism rail transit, providing reference for the implementation in specific projects.

Key words tourism rail transit; suspension monorail system; passenger flow characteristics; traffic organization

First-author's address China Railway Liuyuan Group Co., Ltd., 300308, Tianjin, China

目前国内旅游市场不断发展,著名旅游景区的游客量增长迅速。节假日时期,很多景区地面交通变得不堪重负,不仅严重影响了游客的旅游品质,对景区环境也带来了严重影响。作为解决旅游景区的交通问题,满足观光需求的一种新的交通方式——旅游轨道交通因经济环保、安全准时的特点,在国内正在兴起。

旅游轨道交通一般采用全封闭的形式,基本功能主要为交通功能和观光功能。交通功能旨在解决景区与外部交通枢纽、路网节点、其他景区之间以及景区内部之间的游客运输问题;观光功能主要体现在轨道交通与沿途景色的有机融合,营造人文自然与现代技术相交融的风情画貌,列车上的游客可以从更好、更高的视角饱览秀丽的自然风光,列车外的游客也可以欣赏到科技和自然的和谐之美。

1 悬挂式单轨系统在旅游线的应用前景

悬挂式单轨交通系统的特征是:车辆悬吊在轨道梁下方,转向架和运行轨道置于轨道梁内;线路最小曲线半径为 30 m,最大爬坡能力达 100‰^[1];车辆最高运行速度为 60~80 km/h,平均旅行速度 20~35 km/h;工程投资在 1.0~2.0 亿元/km;适用于单向高峰小时最大断面客流量 0.4~0.8 万人次/h 的旅游交通走廊。

在运能上,悬挂式单轨系统为中低运量等级,4 辆编组情况下运能达到 0.8 万人次/h,可满足绝大部分景区的游客出行需求;在适应性上,悬挂式单轨系统的转弯半径小,爬坡能力强,与多数轨道交通制式相比具有明显的优势,可适应山地城市、道路崎岖不平复杂条件,在造价上,悬挂式单轨系统在高架线路中的造价优势较为明显,相比地面线造价较高;在占地上,悬挂式单轨系统的桥墩宽度约 0.8 m,仅占用 2 m 左右的绿化带即可满足建设要求;从建设周期上,轨道梁、道岔梁、桥墩等可采用工厂加工预制、现场拼装模式,施工工期短,对

环境影响小;在观光性上,悬挂式单轨系统桥梁轻便,列车造型美观,宜与周边自然景观相得益彰,游客可欣赏高空景色。

基于以上特点,悬挂式单轨系统兼具交通和观光功能,在线路条件差、地面交通无法到达的特殊环境中具有明显的竞争优势。因此,悬挂式单轨系统在国内旅游线的应用前景较为广阔,应充分结合景区特点、线路条件进行合理设计,其中,做好行车组织方案研究,确定合理的建设规模,是实施具体工程的基础和必要条件。本文的旅游线是指采用悬挂式单轨系统的旅游轨道交通,并以某景区旅游轨道交通为分析案例。

2 旅游轨道交通客流特征

旅游轨道交通客流特征是行车组织方案设计的重要依据。深入剖析景区旅游轨道交通的客流特征,设计与其相匹配的行车组织方案,对于提高旅游轨道交通的运营效率和服务品质具有相当重要的作用。

客流特征主要包括客流时间分布、客流空间分布、客流需求特征这三个方面^[2]。

2.1 客流时间分布

客流时间分布主要分为全年客流分布、全日客流分布。

旅游轨道交通的全年客流分布与景区客流量全年分布的波动基本一致,与当地的人口、交通、气候、季节、节假日等因素密切相关。一般来说,节假日以及举办大型活动时的日客流量远远大于周末、工作日,旺季日客流量远远大于淡季。以四川阿坝州四姑娘山风景区为例,其客流量月分布图如图1所示。由图1可见,8月和10月的客流量远远大于其他月份,其他月份客流量差异明显,最低月份为1月份,客流量仅为7 624人次。

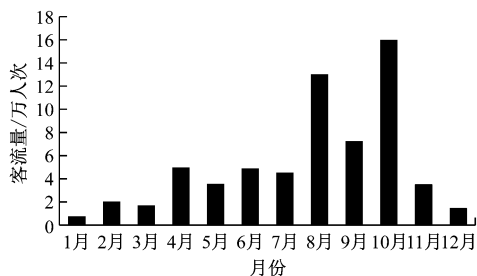


图1 四川四姑娘山风景区游客量月分布图

以4月份的日分布图为例(见图2),4月5日、6

日、7日为清明节小长假,4月29日、30日和5月1日为劳动节小长假,客流量明显大于其他时间,4月1日、14日、15日、21日、22日为周末,客流量约为工作日的2倍。

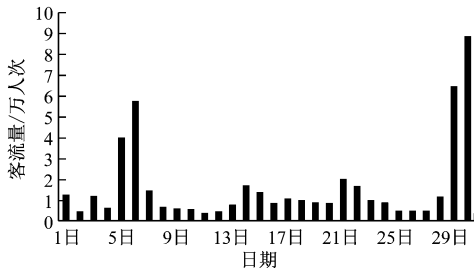


图2 四川四姑娘山景区4月份游客量日分布图

根据统计和计算,四姑娘山景区游客量期望值为1 748人次/d,标准差为2 144人次/d,离散系数为1.23,因此,景区日游客量的波动性极大,为景区服务的旅游轨道交通客流量也存在着极大的不平衡性。从全年客流分布上看,国庆的日游客量最高,多日突破1万人次;五一小长假和8月周末的日游客量相对较高,在6 000~8 000人次;该景区旺季的周末客流量超过了春节、清明、中秋等节假日。从分布比例上看,在1年中,90%的日客流量在4 000人次以内,97%的日客流量在6 000人次以内,如图3所示。

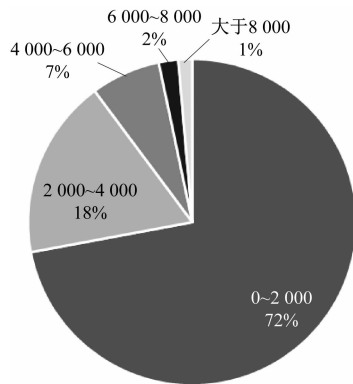


图3 四川四姑娘山景区日游客量分布图

在设计行车组织方案之前,应对节假日、周末、工作日的客流分布进行全面分析,研究旅游轨道交通的设计运输能力与不同时期游客需求的匹配性。

旅游轨道交通的全日客流分布是指一天中不同时段客流出行分布。游客出行时段一般与景区的开放时间相匹配,与通勤客流最高峰通常出现在早上8:00—9:00不同,旅游客流最高峰可能出现在早上的去程,也可能出现在下午的返程^[3]。当

作为大型景区对外交通功能为主的线路时,高峰小时系数相对较高;当作为景区内部观光功能为主的线路时,全日客流分布相对比较均匀,高峰小时系数较低。

2.2 客流空间分布

客流空间分布主要分为全日客流断面和高峰小时客流断面,均体现在客流断面图上。

当旅游轨道交通作为景区对外联系主要交通工具时,全日断面客流往往相对均匀,即首末站的

上下车乘客远大于中间站的上下车乘客,乘客平均运距较长;高峰小时上下行断面客流极不均匀的情况(如图4所示),早上的早高峰进入景区客流远远超过出景区客流,下午则相反。当作为景区内部各景点的连接线或观光线时,各景点的上下车乘客与景点吸引力相关,全日断面客流形状呈现“中间大、两头小”的纺锤形,平均运距相对较短,高峰小时上下行断面客流相对均匀,如图5所示。

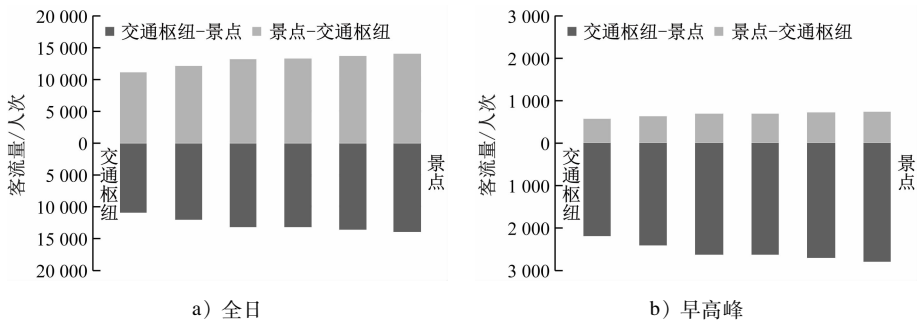


图4 全日和早高峰断面客流(对外交通)

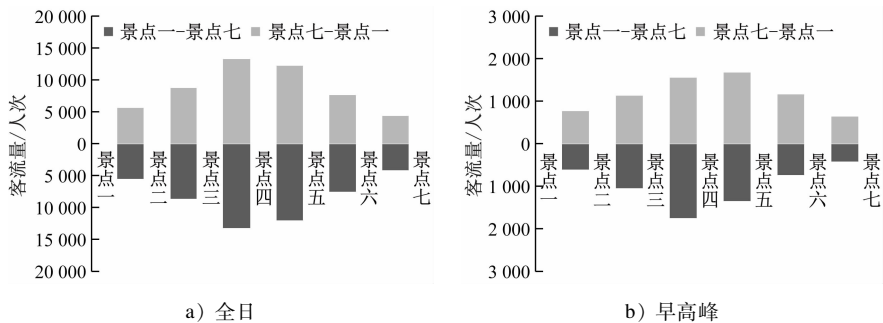


图5 全日和早高峰断面客流(内部交通、观光线)

2.3 客流需求特征

客流需求特征主要体现在游客对旅游轨道交通服务性的要求,主要有乘车环境、最高运行速度、停站时间等。

在旅游轨道交通中,乘客追求的目标是身心愉悦,享受生活,因此对运输的服务性具有较高的要求。第一是乘车环境,游客对乘坐舒适度的要求较高,不光要有便捷的进出站、购票换乘条件和舒适的候车环境,对客室内的乘坐舒适度要求尤为严格。在平均运距较长时,应尽量保证充足的座椅数量,在平均运距较短时,游客即使在客室中站立,也不会引起过度的反感。第二是最高运行速度,这与线路长度、沿途景观相关。当线路较短或沿线风景优美时,旅游线应重点突出其观光功能,最高运行速度应保持在较低水平,以提高游客的观赏体验;

当线路较长或沿线景观单调时,最高运行速度应尽量提升,加快列车周转。第三是停站时间,旅游客流的目的放松和愉悦自身,因此在进出站、售检票、上下车等过程中均表现出轻松姿态,相比通勤客流,对时间的要求不再严格。因此,旅游客流的上下车速度应比通勤客流稍慢,停站时间应适当增加,保证乘客充足的上下车时间。

3 行车组织方案要素分析

在旅游轨道交通中,行车组织方案的三大要素主要是行车对数、列车运行交路、列车旅行速度。

3.1 行车对数

旅游轨道交通的基本功能是满足游客的乘车需求,因此行车对数是行车组织方案的核心。与通勤客流不同,旅游客流往往存在极大的不平衡性。

若按照完全满足节假日的最大客流考虑,行车组织方案可以满足全年的客流需求,但是绝大多数时间运能富余过多,存在列车闲置、规模偏大的情况,经济效益较差;若按照满足日均客流量考虑,线路的设计运输能力无法满足节假日的客流,甚至连旺季的周末也无法满足,轨道交通的作用无法体现。

在设计行车对数时,主要按照如图 6 所示的 4 个步骤进行。其中,客流分析和车辆定员的确定尤为关键,其需要密切结合客流时间分布和客流需求特征来进行研究。

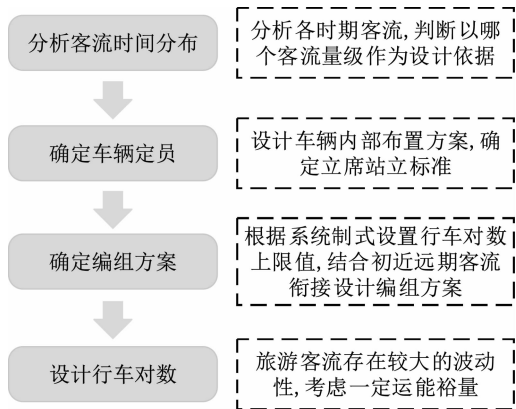


图 6 行车对数设计流程

3.2 列车运行交路

列车运行交路的制定主要以客流空间分布为依据,具体有以下几点影响因素:一是充分考虑全线的客流分布规律,研究列车运行交路设置的匹配性和可延续性;二是考虑行车组织的灵活性和可操作性,线路通过能力和可持续运输能力应满足要求;三是考虑折返站配置情况和能力的大小;四是以满足大多数游客出行需求为目标,尽量减少换乘次数,提高游客出行的直达性^[4]。

对于以对外交通为主的旅游线,客流特征以直达为主,客流断面均匀,列车交路宜考虑采用单一交路;当潮汐客流明显时,上下行客流极不均匀,可结合交路长度、场段位置考虑采用单向加车方案,以减少车辆购置费和运营成本^[5]。对于以内部交通、观光线为主的旅游线,断面客流呈现纺锤形,当线路较长时,从运营效率的角度,可考虑采用大小交路;当线路较短时,从运营简便的角度,可以考虑采用单一交路。折返站位置必须有足够的配线和其他设备。对于悬挂式单轨系统而言,由于轨道梁道岔的特点,无法布置交叉渡线,而且道岔造价高昂,在设置折返站时需慎重考虑,应综合比较建设

投资、运营维护成本和难度、乘客舒适性等因素,选择最佳方案。

3.3 列车旅行速度

列车旅行速度主要与最高运行速度、停站时间相关,是计算运用车的基础。旅行速度越高,列车周转越快,运用车和配属车就越少。目前 1 辆悬挂式单轨车辆造价就达数百万元,旅行速度的微小变化就可能带来上千万元的费用变化。

最高运行速度取决于旅游轨道交通的功能。以观光为主的线路,应适当降低最高运行速度,保持在 20 ~ 40 km/h;在局部风景优美区段,可进一步降低速度,以增加游客的体验感。以交通功能为主的线路,应在乘坐舒适的前提下,尽量提高运行速度,宜在 60 ~ 80 km/h,以加快列车周转,减少列车购置费用。停站时间应充分考虑游客的心理状态和行走速度,上下车时间应在通勤客流上下车速度的基础上适当放宽,停站时间不宜过短,列车在停站时应反复提醒乘客,避免乘客坐过站。

4 算例分析

以某景区旅游轨道交通线路为例,进行行车组织方案分析。根据景区客流量,淡季为每年的 12 月至次年 3 月,旺季为 4 月至 11 月,淡、旺季的工作日和周末分开考虑,法定节假日作为一个时段。因此,将全年划分为淡季工作日、淡季周末、旺季工作日、旺季周末、节假日 5 部分进行客流预测。

该线全长 5 km,共设 4 座车站,线路功能以交通功能为主、观光功能为辅,其客流指标如表 1 所示。客流以起终点直达客流为主,早高峰最大客流断面区间为三站—四站,远期节假日早高峰断面客流如图 7 所示。

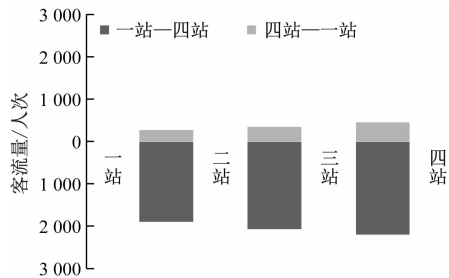


图 7 远期节假日早高峰断面客流

在设计行车组织方案时,首先判断以哪个阶段的客流数据作为主要设计依据。按上述 5 个阶段的天数在全年中的比例进行排序,旺季工作日

表 1 客流预测指标汇总表

设计年限	阶段	日客流量/ 人次	高峰小时 最大断面/ 人次	全年 天数/d	年客流量/ 万人次
初期	淡季工作日	1 149	230	82	100.6
	淡季周末	2 299	460	36	
	旺季工作日	2 402	480	169	
	旺季周末	4 804	961	56	
	节假日	7 000	1 400	22	
近期	淡季工作日	1 916	383	82	139.3
	淡季周末	3 831	766	36	
	旺季工作日	3 203	641	169	
	旺季周末	6 406	1 281	56	
	节假日	9 000	1 800	22	
远期	淡季工作日	2 682	536	82	178.0
	淡季周末	5 364	1 073	36	
	旺季工作日	4 004	801	169	
	旺季周末	8 007	1 601	56	
	节假日	11 000	2 200	22	

(46.3%) > 淡季工作日 (22.5%) > 旺季周末 (15.3%) > 淡季周末 (9.9%) > 节假日 (6.0%);按日客流量进行排序,节假日 > 旺季周末 > 淡季周末 > 旺季工作日 > 淡季工作日,因此满足旺季周末客流可满足 94% 时间的客流需求。节假日客流量约为旺季周末的 1.37 ~ 1.46 倍,按旺季周末的高峰小时最大断面客流计算设计运输能力,并考虑 10% ~ 20% 的运能裕量,旅游轨道交通的实际运输能力可满足节假日的大部分需求。由于该线以交通功能

为主,游客对客室环境的容忍度较高,因此节假日期间可适当降低客室内的服务水平,即提高立席的站立标准,并尽可能利用既有运用车数量,提高高峰小时行车对数,检算是否满足节假日客流需求。综上,该线宜按旺季周末的高峰小时最大断面设计运输能力。

参考四川省地方标准的车型分类,该线车辆宜采用定员较大的 A 型车。该线以交通功能为主、观光功能为辅,应考虑部分站席。从游客舒适性的角度考虑,站立标准宜采用 3 ~ 4 人/m²,取中值 3.5 人/m²,车辆定员为 67 人/辆。在节假日时,站立标准取 5 人/m²,定员为 82 人/辆。作为旅游轨道交通,行车对数不宜大于 20 对/h,因此列车采用 2 辆编组。

该线平均站间距达 1.7 km,因此宜适当提高最高运行速度,取 60 km/h。首末站停站时间为 40 s,中间站停站时间为 30 s。经计算,该线配车旅行速度为 30 km/h。

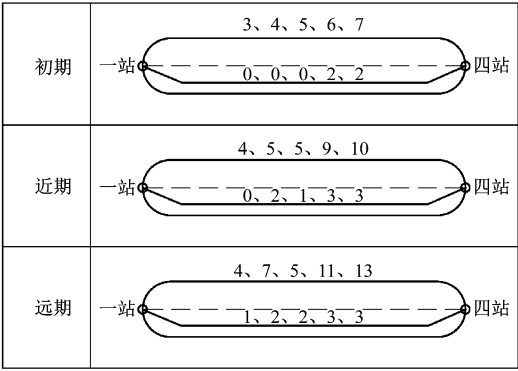
客流以起终点站直达客流为主,而且线路较短,列车运行交路采用单一交路。考虑到该线潮汐客流明显,可以采用单向加车方案,在一站附近设置车辆基地 1 座,四站附近设置可供 3 列列车停放的停车线,具备在高峰期单向加 3 列列车的条件。

根据客流需求设计行车对数,计算旺季周末的设计运输能力和运用车,然后根据各年限的实际运用车数量计算行车对数可达到的最大值,分别为 9 对/h、13 对/h、16 对/h。各阶段的设计运输能力和运用车数量如表 2 所示,早高峰列车交路图如图 8 所示。

表 2 设计运输能力表

设计年限	初期					近期					远期				
	淡季 工作日	淡季 周末	旺季 工作日	旺季 周末	节假日	淡季 工作日	淡季 周末	旺季 工作日	旺季 周末	节假日	淡季 工作日	淡季 周末	旺季 工作日	旺季 周末	节假日
列车编组/(辆/列)	2					2					2				
列车定员/(人/列)	134	134	134	134	164	134	134	134	134	164	134	134	134	134	164
高峰小时最大断面/人次	230	460	480	961	1 400	383	766	641	1 281	1 800	536	1 073	801	1 601	2 200
高峰小时单向最大行车量/列	3 + 0	4 + 0	4 + 0	6 + 2	7 + 2	4 + 0	5 + 2	5 + 1	9 + 3	10 + 3	4 + 1	7 + 2	5 + 2	11 + 3	13 + 3
设计运能/(人次/h)	402	536	536	1 072	1 476	536	938	804	1 608	2 132	670	1 206	938	18 76	2 624
运能裕量/%	42.82	14.23	10.37	10.37	5.15	28.52	18.31	20.33	20.33	15.57	19.95	11.05	14.64	14.64	16.16
运用车数量/列	2	2	2	4	4	2	4	3	6	6	3	4	4	7	7

注:高峰小时单向最大行车量中() + ()为双向行车对数 + 单向加车数。



注:图中数字依次为淡季工作日、淡季周末、旺季工作日、旺季周末、节假日的行车量;在初期、近期和远期中,第一行数字的单位为对/h,第二行数字的单位为列/h。

图 8 早高峰列车交路图

5 结语

国内旅游轨道交通发展迅速,悬挂式单轨系统作为一种轻型、美观、适应能力强的轨道交通制式,在旅游线的应用前景较为广阔。但是任何轨道交通均存在规模大、造价高昂的问题,因此做好旅游线的行车组织精细化设计,设计合理建设规模是项

(上接第 201 页)

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.埋地钢制管道直流干扰防护技术标准:GB 50991—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.钢制管道外腐蚀控制规范:GB/T 21447—2018[S].北京:中国质检出版社,2018.

[6] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等.城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M].成都:西南交通大学出版社,2008.

[7] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城镇燃气设计规范:GB 50028—2006[S].北京:中

目实施的重点。本文从客流时间分布、客流空间分布、客流需求特征等三方面分析客流特征,为行车组织设计打好基础;然后主要从行车对数、列车运行交路、旅行速度等与旅游线特征相关的三部分内容进行行车组织设计方法的研究;最后结合算例,设计与之相匹配的行车组织方案,为具体工程实施提供参考。

参考文献

[1] 李芾,许文超,安琪.悬挂式单轨车的发展及其现状[J].机电传动,2014(2):16.

[2] 刘广武,连义平,张凯.旅游轨道交通运输组织模式研究[J].铁道运输与经济,2018(1):106.

[3] 郭旭东,刘永平,王远回.以旅游功能为主的城市轨道交通线路客流预测方法[J].城市轨道交通研究,2018(1):49.

[4] 吕晓东.城市轨道交通列车运行交路问题研究[D].成都:西南交通大学,2012.

[5] 陈福贵.地铁单向加车小交路方案研究[J].都市快轨交通,2018(5):123.

[6] 四川省住房和城乡建设厅.悬挂式单轨交通设计标准:DBJ 51/T 099—2018[S].成都:西南交通大学出版社,2018:12.

(收稿日期:2019-05-07)

国建筑工业出版社,2006.

[8] 黎明化工研究院化工新材料检测中心.纳米瓷涂层绝缘检测报告[R].洛阳:洛阳双瑞橡塑科技有限公司,2016.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.聚氨酯泡沫合成轨枕:CJ/T 399—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.

[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.埋地钢制管道阴极保护技术规范:GB/T 21448—2017[S].北京:中国标准出版社,2018.

[11] 殷爽,傅铭,王晨,等.一种轨道交通沿线管道杂散电流防护装置:CN209534795U[P].2019-10-25.

(收稿日期:2020-04-15)

上海轨道交通市域线嘉闵线工程可行性研究报告获批

上海市发展和改革委员会发布:上海轨道交通市域线嘉闵线工程可行性研究报告已获批。正线全长44.04 km,途经嘉定区、闵行区。自嘉定城北路站,经新成路站、嘉戩公路站、丰茂路站、南翔站、金园五路站、金运路站、天山路站、虹桥站、迎宾三路站、沪星路站、七宝站、七莘路站、莘建路站,至闵行银都路站。

嘉闵线是上海市域网络中南北向的骨架线路。该项目建设对推动长三角地区交通基础设施互联互通、促进虹桥国际开放枢纽发展、完善本市轨道交通网络、改善地区交通出行环境具有重要作用。嘉闵线正线除虹桥枢纽段采用地面敷设,地面段长度2.68 km,其余均为地下段,地下段长度41.36 km。全线设14座地下车站,1座地面车站。采用最高运营速度为160 km/h的动车组列车,快慢车组合运输模式。项目建成后,将实现与轨道交通2号线、9号线、12号线等9条线路,以及市域线机场联络线的换乘,未来还将实现与多条规划轨道交通的换乘。

(摘自2021年5月13日“上海发布”)