

文章编号:1008—7842 (2023) 02—0162—06

引用格式:李 艳. 新型山地旅游轨道交通车辆概念设计[J]. 铁道机车车辆, 2023, 43(2):162-167.

新型山地旅游轨道交通车辆概念设计

李 艳

(中铁二院工程集团有限责任公司 科学技术研究院, 成都 610031)

摘 要 为充分实现山地旅游轨道交通的“交旅融合”, 山地旅游交通车辆系统需紧密结合山地旅游交通特殊的运营环境及工程条件开展个性化定制, 开展全新的山地旅游轨道交通车辆概念研究。文中从线路适应性、环境适应性、客流适应性 3 大方面开展了车辆关键技术指标研究。结果表明: 为适应山地旅游线路条件, 车辆宜选用米轨轨距, 轴距在 2.3~2.8 m 为宜, 定距在 11~13 m 为宜; 为控制山地旅游交通工程体量, 车辆宽度宜控制在 2.4~2.5 m, 双线线间距在 3.3~3.4 m 为宜, 轴重不宜大于 12 t; 为满足山地旅游客流乘坐需求, 车长宜 20 m 左右, 车辆启动加速度设计在 0.4~0.6 m/s² 为宜。研究结果可为山地旅游交通系统工程设计提供基础支撑。

关键词 山地旅游轨道交通; 车辆概念设计; 线路适应性; 环境适应性; 客流适应性; 技术安全性

中图分类号: U237 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1008—7842.2023.02.26

山地旅游轨道交通车辆系统, 是山地旅游与轨道交通融合的新型定制类产品, 其功能和性能需充分满足特殊的运营环境及工程条件。山地轨道交通车辆与既有城轨车辆、干线铁路车辆(动车组、机车)等是有很大差异的, 其概念设计及顶层指标的确定, 将为列车总体技术指标提供依据, 从而为列车设计提供依据。以四川境内某山地旅游交通项目的特殊运营环境和工程条件为设计需求导向, 开展其轨道交通车辆顶层指标设计研究。

1 山地旅游轨道交通特殊的运营环境及工程条件

(1) 线路里程长、行车环境复杂

山地旅游轨道交通线路, 为便捷引入城市客流, 并将乘客一站式送达山地旅游核心区, 线路里程长, 全程约 120 km 左右, 桥隧比例高达 97.7%; 沿线串联的山地旅游景点, 自然景观、地形奇特, 存在极多地质风险点, 行车环境复杂。

(2) 沿线环保生态要求高, 用地紧张

线路串联有国家级或省级自然保护区、风景

名胜区、世界遗产地、国家公园等, 约 70% 路段属环境敏感区, 交通可用通道狭窄, 用地紧张, 线间距控制严格; 工程沿线环保要求高, 不允许类似接触网的柱网结构出现, 不允许污染物排放。

(3) 线路高程起伏大, 坡度爬升陡

沿线有风景至高点, 海拔高, 线路高程起伏大, 坡度爬升快。线路设计高程跨度 680~3 800 m, 拓宽了机电设备海拔适应范围; 存在极大坡道 120‰~250‰, 亦有长达 5 km 左右 40‰ 的连续坡道, 坡道多、坡度陡、连续坡长长。

(4) 全线选线空间有限, 曲线半径小

线路走向在串联山地旅游的同时, 还需考虑系统救援疏散能力, 通常沿既有公路交通和河道选线, 且尽量选环境敏感性小的地段。线路整体可优化空间小, 平面曲线半径小, 最小半径达 150~200 m。

(5) 客流需求小, 站间距长度不一, 总旅行时间长

沿线景区具有季节性特色, 如高山河谷旅游特色、生态旅游特色、户外滑雪旅游特色等, 淡旺

基金项目: 中铁二院科研项目 (KYY2018067 (18—20), KYY2019111 (19—21))

作者简介: 李艳 (1984—) 女, 高级工程师 (修回日期: 2023—02—28)

季旅游客流量差异明显;淡旺季高峰小时最大断面分别约1 000人次、3 000人次左右,高峰客流均不超过5 000人次/h,客流总体需求小。线路共设置12个站,站间距配置长短不一,最短仅3.15 km,最长有24 km;总体旅行速度要求55~70 km/h。

综上所述,山地旅游交通在线路、运量、环保、行车环境等方面提出了特殊要求,当前成熟运用的山地旅游制式在此类线路上运用存在不足,山地旅游轨道车辆亟需针对性开展小型化、高海拔、大坡道、绿色供电制式等方面的研究。

2 车辆顶层设计指标设计

2.1 线路适应性相关的指标

(1) 坡道能力—120‰、250‰适应能力

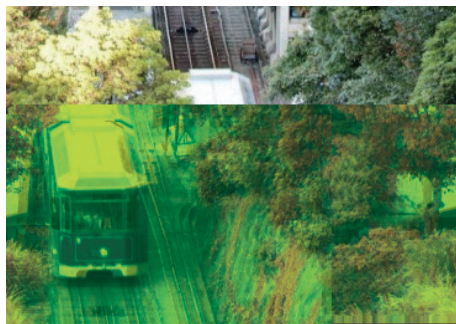
纵观路面交通工具,极大坡道的适应能力,唯有铁路交通有可能实现;常规的轨道交通制式均不适用,需要选用登山铁路;登山铁路主要发展了缆索铁路、齿轨铁路2种型式,如图1所示。

缆索铁路,是一种介于索道及铁路的交通系统,用缆索拖拉车厢在陡峭路轨上行走,动力配置在车站。譬如瑞士施图斯缆索铁路,最大坡道达1 100‰。齿轨铁路是在普通轨道中间放置齿轨,通过列车上一个或多个齿轮与齿轨的啮合,牵引列车在陡峭斜坡开行。在国外发展较广,总里程超过3 000 km^[1];发展了纯齿轨、齿轨与黏着并用2种类型。为适应不同坡道,发展了以皮拉图斯480‰坡道为代表的水平齿型、以少女峰250‰和华盛顿374‰坡道为代表的竖向齿型。

缆索铁路虽然爬坡能力极强,但其线路长度一般较短,线路曲线少,且运行能力受车站动力配置限制;而齿轨铁路线路长度理论上无限制,且动力配置随车安装。当前线路里程长,40‰及以下小坡道多,极大坡道以120‰、250‰以下为主,因此,为同时兼顾运距和大小坡道需求,提高旅行速度,并实现全线不换乘通行,需采用齿轨与黏着并用的齿轨列车,并选用竖向齿齿轨技术。

(2) 轨距

纵观世界各国齿轨铁路,列车轨距选取与驱动方式、齿轨型式、坡道大小等均未形成直接关系,轨距800 mm和1 000 mm居多,见表1。从节约



(a) 香港太平山缆索铁路



(b) 瑞士施图斯缆索铁路



(c) 皮拉图斯纯齿轨铁路



(d) 金色山口快线齿轨与黏着并用的齿轨铁路

图1 登山铁路

土地占用的角度,宜选取米轨及以下窄轨;结合我国窄轨铁路经验,米轨占优。因此,山地轨道车辆轨距指标确定为米轨。

(3) 曲线能力

列车轴距、定距是影响曲线通过能力的关键,与转向架宽度、牵引、制动系统等设备布局十分相关。因轮轨冲角的限制,两轴转向架能通过的最小曲线半径与轴距成正比关系^[2],轴距越小,转向

表 1 世界各国齿轨铁路特点

齿轨线路	驱动方式	齿轨型式	最大坡度/%	轨距/mm
瑞士皮拉图斯山齿轨	纯齿轨	Locher(水平)	480	800
美国华盛顿山齿轨铁路	纯齿轨	Riggenbach(竖向)	374	1 422
瑞士少女峰齿轨(上)	纯齿轨	Strub(竖向)	250	1 000
德国楚格峰齿轨	纯齿轨	Riggenbach(竖向)	250	1 000
德国文德尔施泰因齿轨	纯齿轨	Sturb(竖向)	200	1 000
瑞士戈尔内格拉特齿轨	齿轨+黏着	Abt(竖向)	200	1 000
瑞士少女峰齿轨(下)	齿轨+黏着	Riggenbach(竖向)	120	1 000

架可通过的曲线半径越小,为式(1):

$$R_{\min} = \frac{l}{K} \quad (1)$$

式中: R_{\min} 为最小曲线半径; l 为轴距; K 为与车轮直径相关的系数。

车辆定距取值亦与车辆能通过的最小曲线半径相关^[2],为式(2):

$$R_{\min} = \frac{L}{2\sin(\theta + \theta')} \quad (2)$$

式中: L 为两转向架心盘间距,约为车辆定距; θ 为转向架构造上允许最大转角; θ' 与轴距 l 、轮缘与钢轨总间隙 $\sigma + \Delta$ 相关,关系为式(3):

$$\theta' = \frac{\arcsin(\sigma + \Delta)}{l} \quad (3)$$

可见,车辆定距越小,可通过的最小曲线半径越小。因此,要获得优良的曲线通过能力,定距不宜设大。

纵观国外竖齿齿轨列车,由于头车考虑悬浮车体技术,头车无定距;中间车定距约 10.8~12.5 m;动力转向架轴距范围约 2.38~2.72 m;因考虑车长、齿轮机构及其动力驱动装置、制动装置布局空间,定距与车长的比例、轴距的取值较普通地铁列车大,见表 2、表 3。

表 2 齿轨列车主要参数

齿轨线路	车长/m	编组	定距/m	轴距/m
德国楚格峰齿轨	30.60	2 编	无	2.72
瑞士少女峰齿轨(上)	47.86	3 编	约 10.8(中间车)	2.20
瑞士戈尔内格拉特齿轨	33.23	2 编	无	2.6(动)、2.5(拖)
瑞士金色山口快车	54.00	3 编	约 12.5(中间车)	2.38(动)、2.0(拖)

表 3 地铁列车主要参数

地铁	车长/m	定距/m	轴距/m	最小曲线半径/m
A 型	22	15.7	2.2~2.5	正线:300 车场线:150
B 型	19	12.6	2.0~2.3	正线:250 车场线:150

为同时满足山地旅游交通黏着段 150 m 以及齿轨段 400 m 的最小曲线半径要求,山地齿轨列车,在考虑齿轨段坡道大小、齿轮机构及其动力配置空间的基础上,齿轨转向架轴距选取范围宜控制在 2.3~2.8 m,对于车长 19~20 m 左右的列车,定距宜控制在 11~13 m 范围。

(4) 高海拔适应能力

高海拔自然条件,将影响车辆电气设备设计

和车内供氧能力。

列车从城区低海拔的客流起点出发,贯穿至高海拔景区,海拔提升幅度可达 3 000 m 左右,温差变化约 18 ℃,运营时间范围内的温度变化率,对车辆蓄电池电能的有效性和适用性提出了高要求。同时,当海拔在 1 200 m 以上时,列车电气安全间隙需特殊考虑,并按照 GB/T 2026.1 标准执行;以海拔 1 200 m 为基准,海拔 4 000 m 电气间隙

修正系数宜选用 1.41~1.45 范围。

随着海拔高度增加,大气压力降低,空气密度减小,大气中氧分压降低,易导致动脉血氧饱和度下降,产生缺氧。为提高乘坐舒适性和安全性,在海拔 3 000 m 及以上地段使用的车辆,列车应具备乘客供氧功能。

2.2 环境适应性相关的指标

(1)车辆宽度

为缓解沿线紧张用地,线间距应尽量减少。线间距与列车速度、车宽、可承受的会车压力波值

密切相关,且区间直线段线间距为相邻列车侧壁净间距与两列车半宽之和^[3]。结合旅游观光属性,山地旅游列车坐席布局多,横向乘坐舒适;为控制线间距,坐席宜考虑 2+2 型式。从人机工程学角度,单人乘客坐席通常为 445~476 mm^[4],参考 CRH 型动车组坐席宽度设计^[5-6],2 人椅宽(无扶手)可以考虑为 900~930 mm 左右;过道宽度 450~500 mm,则车宽可控制在 2.4~2.5 m 左右。纵观国内外高速列车、城际以及地铁系统 0.8~1.2 m 的相邻侧壁净间距范围,见表 4,再结合推荐车宽和速度因素,线间距可考虑设置 3.3~3.4 m 左右。

表 4 轨道交通系统线间距和车宽设置

线路	最高速度/(km·h ⁻¹)	车宽/m	线间距/m	两车净间距/m	坐席
上海地铁 1 号线	100	3.00	3.8	0.80	纵向
珠江城际线 ^[7]	≤140	3.00	3.8	0.80	横向 2+3
马来西亚南北城际 ^[3]	≤120	2.80	4.0	1.20	横向 2+2
日本东海道新干线 ^[8]	270	3.38	4.2	0.82	横向 2+3
广深城际	200	3.30	4.4	1.10	横向 2+3

(2)轴重

列车轴重是影响轨道、桥梁、路基等线下基础工程量的重要输入因素。国外 2.6 m 宽齿轨列车,动力分散布局,且选用了车体悬浮铰接技术^[1],减

少了转向架数目,最大轴重约 12~13 t,见表 5。考虑国内独立式转向架技术和车体质量控制技术的成熟性,并结合 2.5 m 车宽,最大轴重可控制在 12 t 及以下。

表 5 米轨列车轴重

车型	列车编组	车宽/m	最大轴重/t
瑞士少女峰齿轨列车	3 编,头车采用车体悬浮技术,4 个转向架	2.60	约 12~13
瑞士金色山口齿轨快车	3 编,头车采用车体悬浮技术,4 个转向架	2.65	约 12~13

(3)驱动方式

沿线环保生态要求高,不允许各类污染排放物;且海拔提升快,耗氧类驱动方式燃烧不充分,动力受限,因此,列车驱动能源只能选择清洁能源—电能。对于供电方式,主要有接触网、接触轨、车载储能 3 种模式;为了满足环保要求,桩网结构的接触网不适宜;对于短距离和低坡道运输,车载储能设备优势明显;而对于长距离、大坡道开行,接触轨方式相对适宜。

2.3 客流适应性相关的指标

(1)车长

车辆载客能力,取决于车辆尺寸和坐席布局。车辆长度,相关车内坐席空间需求、车底设备布局

空间等,且需考虑与宽度的协调性。纵观国内外米轨、齿轨车辆尺寸选择,长宽比最大达 8.4 左右,见表 6。

表 6 米轨、齿轨车辆尺寸

车型	车长/m	车宽/m	长宽比
马来西亚米轨动车组	约 23	2.75	8.4
德国楚格峰齿轨列车	约 15	2.50	6.0
瑞士少女峰齿轨列车	约 16	2.60	6.2
瑞士戈内内格拉特齿轨列车	约 16	2.65	6.0
瑞士 Zentralbahn 齿轨列车	约 18	2.65	6.8

要满足 3 000 人次/h 左右高峰客流需求和最小行车间隔 5~8 min 的设计能力,列车载客能力需达到 400~450 人左右。通常,每排坐席间距约

1 m^[5], 19 m左右车长约有18排座位,即坐席约70人左右;在高峰期考虑乘客过道站立空间,约10 m²左右,采用宽松的3~4人/m²站立标准,则一节长19 m左右的车辆载客量约110人左右,4编组即能满足需求。考虑车内其他设施布局以及车底设备布局空间等,可适当拉长车长至20 m左右,其长宽比为8,仍在合理范围之内。

(2) 运行速度

对于长大的线路里程,列车有高速度要求;对于长大坡道的开行,列车安全需求高于对速度的追求。瑞士金色山口列车兼顾轮轨和齿轨并用,黏着段最高速度120 km/h,但齿轨坡道只有120‰,黏着坡道低于40‰;这对于本线适应性有限,亟需列车黏着和齿轨坡道能力提升。

列车动力配置需结合常规坡道下的“快旅”和齿轨坡道的“慢游”双向需求,轮轨动力和齿轨动力需相互协调匹配。为保障全线供电均衡,列车在2种路段的功率需求宜相当。同一列车若沿用当今成熟的黏着与齿轨独立驱动技术,在两路段的坡道能力、最高运行速度、坡道救援能力是相互制约,呈现此消彼涨态势,见表7。根据联邦铁路法规AB-EVB,齿轨列车存在结构速度限制,最大速度不超过40 km/h^[1],且坡度越大,安全限速越低。

表7 某山地旅游列车的速度和救援能力

坡道	匹配最高速度/(km·h ⁻¹)	坡道救援能力
0‰	120	空救重
40‰	70	空救重
120‰	20	空救空

因此,山地齿轨列车黏着路段和齿轨路段运行速度目标值的确定,宜结合线路特征、救援需求和功率匹配充分考虑。同时,为打破2种路段的动力制约,可开展黏着和齿轨一体化驱动技术研究。

(3) 起停加减速

山地旅游列车,相较于市内通勤列车而言,列车快起快停并非必需;在满足全线旅行时间需求时,可适当降低加减速,从而减轻牵引总功率、制

动热容量配置,减小电机、机械制动装置的安装空间。列车加减速建议向长大运距的城际、干线列车靠拢,并还可以适当降低,即起动加速度约0.4~0.6 m/s²,制动减速度约0.8~1.0 m/s²(黏着);齿轨列车制动减速度宜充分结合带式制动的特殊性来确定。

3 结论和展望

山地旅游轨道交通车辆系统的顶层设计指标,相较于传统轨道交通车辆在线路适应性、环境(环保)适应性、客流适应性3大方面是存在差异的,具体体现在车辆制式、轨距、曲线通过能力、轴距、定距、车辆尺寸、轴重、线间距、动力配置、最高速度、列车起停性能等指标中。

为充分实现山地旅游轨道交通的“交旅融合”,车辆系统需紧密结合山地旅游交通特殊的线路特征、环境特征、线路运输组织特点开展个性化定制,并将需求转换为车辆设计指标,为全线运输组织、线路设计、轨道系统、桥梁系统、路基系统、供电系统的工程设计提供前提支撑。

参考文献

- [1] 尚勤,李廉枫,涂旭.国外齿轨铁路技术的发展及运用[J].机车电传动,2019(2):9-15.
- [2] 鲍维千.机车总体及转向架[M].北京:中国铁道出版社,2014.
- [3] 李洪斌.马来西亚南部米轨铁路主要技术标准研究[J].铁道勘察,2004(6):48-51.
- [4] 刘枫.基于人机工程的民航座椅设计研究[D].西安:西安工程大学,2018.
- [5] 金旭东.以“CRH2型”动车为例阐述车厢室内设计的过程体现[J].延安职业技术学院学报,2013,27(1):88-91.
- [6] 刘银生,刘伟,王冰松,等.基于CRH6型城际动车组的座椅研究[J].高速铁路技术,2016,7(2):76-79,94.
- [7] 黄远清.珠三角城际轨道交通正线线间距研究[J].铁道工程学报,2010,27(6):23-26.
- [8] 李向国,黄守刚.高速铁路技术(第三版)[M].北京:中国铁道出版社,2006.

Concept Design of Rail Transit Vehicles for Mountain Tourism

LI Yan

(Science and Technology Research Institute, China Railway ErYuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031 Sichuan, China)

Abstract: In order to fully realize the integration of transportation and tourism, rail transit vehicles for mountain tourism need to be customized according to the special operating environment and engineering conditions. A new concept research on the vehicle of mountain tourism transit is carried out. In this paper, the key technical indexes of vehicles are studied from the three aspects of routes adaptability, environmental adaptability and passenger flow adaptability. In order to adapt to the conditions of mountain tourism routes, the values of such indicators as meter track gauge, the wheelbase of 2.3–2.8 m, the bogie center distance of 11–13 m are proposed. The vehicle width of 2.4–2.5 m, the track spacing of 3.3–3.4 m, and the axle load below 12 t are definitely determined to control the engineering scale. In order to meet the demand of tourist flow, the vehicle length should be about 20 m, and the vehicle starting acceleration should be designed at 0.4–0.6 m/s². The results can provide basic support for the engineering design of the transportation system of mountain tourism.

Key words: rail transit system for mountain tourism; vehicle concept design; line adaptability; environment adaptability; passenger flow adaptability; technical safety