

# PRT 交通模式在山地的应用

安沛君 胡应平\*

( 北方工业大学建筑工程学院 北京 100004 )

**摘 要:** 基于型钢 HZ200X100 悬挂轨道及自主转向道岔的悬挂 PRT( Personal Rapid Transit) 实验研究和基于悬挂 PRT 的山地交通模式与基于汽车的山区道路交通模式比较研究表明, 在山地应用悬挂 PRT 具有安全隐患少、全天候全季节、建设与维护成本低、节地、节能、不破坏山形地貌、环保的优势; 提出了基于悬挂 PRT 山地交通模式的山地居住、山地观光旅游的基本设想。认为基于悬挂 PRT 的山地交通模式使山地交通选线更自由、到达范围更广泛、交通保障更可靠, 为破解传统山地交通的安全、环保、经济困境提供新方向。

**关键词:** 个人捷运 PRT 交通 山地交通

**中图分类号:** U113 ,U18

**文献标识码:** A

PRT 是 Personal Rapid Transit( 个人快速交通) 的缩写, 是以满足个性化交通需求为目的的一种交通解决方案。这个系统能够满足每一个具体的个人不同出行时间、不同出发地、目的地、不同的路线的交通需求。使用 PRT 不需要按照车辆时刻表制定出行计划, 也不需要中途换车。只要坐进车内, 车会自动把乘客送到目的地, 就像使用电梯一样方便。它能够解决传统公共交通存在的诸如不能直达目的地、换车等待、沿途为其他乘客停车等问题; 同时, 也能解决传统私人汽车存在的驾驶安全、日均运行时间只有 1 ~ 2 h、低效、占用土地等问题。

## 1 PRT 交通模式简介

PRT 概念最早由美国人 Donn Fichter 于 1953 年提出。由于自主转向道岔、自动行驶、轨道运量与工程造价高等问题, PRT 未能广泛应用。经过几十年特别是近几年的探索研究, 随着计算机远程控制

技术的成熟, PRT 技术进一步成熟, 自主转向悬挂式独轨技术的发明, 使轨道的车辆流量提高 6 ~ 300 倍, 并极大提高道岔的可靠性, 轨道造价为原来路面造价的 1/5。

当前世界上几种主要的 PRT 方案都是采用专用轨道作为车辆行驶的载体。按照车辆和轨道的关系可分为跨座式、悬挂式和侧挂式。代表性的 PRT 系统有 RUF、APM、SKYWEB、ULtra( 图 1)、Skytran( 图 2)、JPods、CABLE RAIL、WireRoad、FLYWAY、MonoMobile( Cicinatti, USA)、Shweeb、SKYRAID、PRC( Personal Rapid Chair)( 图 3 ~ 图 4)、Mister( 图 5)。目前, 只有 ULtra 在英国西斯罗机场得到应用, 作为 5 号航站楼和停车场之间的联络线, 并取代了原有的公共汽车线路。其他 PRT 研究项目尚处于概念方案或实验研究阶段。

虽然 PRT 皆需在专用轨道上行驶, 但和人们所熟悉的铁路、地铁以及索道缆车交通系统完全不同。在 PRT 交通系统中, 由轨道构成的网络应该被理解

收稿日期( Received date): 2012 - 06 - 23。

基金项目( Foundation item): 北京市人才强教计划项目( PHR201006119); 北京市教育委员会科技计划重点项目( KZ200610009005); 北京市教育委员会实验室建设项目 PXM2008 - 0142。[Talents to teach in Beijing projects( PHR201006119), Beijing Municipal Education Commission Science and Technology Key Project( KZ200610009005), Beijing Municipal Education Commission Laboratory construction project( PXM2008 - 0142).]

作者简介( Biography): 安沛君( 1971 - ), 男, 北方工业大学教师, 国家一级注册建筑师。[An Peijun( 1971 - ), male, a teacher of North Industrial University of technology, National First Class Registered Architects. ]E-mail: anpeijun@yahoo.com

\* 通讯作者( Corresponding author): 胡应平( 1961 - ), 男, 北方工业大学教授, 国家一级注册建筑师。[Hu Yingping( 1961 - ), male, professor, National First Class Registered Architects. ]E-mail: hyp@ncut.edu.cn

为一种介质,在这种介质中,车辆可以任意移动,完全没有固定路线,而是根据每一次交通需求的不同以及交通状况的不同,随时调整路线。这些调整和决策由 PRT 系统的计算机来控制。计算机在综合分析所有交通需求和轨道网络上能提供的车辆资源之后,制定最优方案解决当前所有交通需求。乘客无需按照固定时刻表在固定线路出行。只需要将自己的出行需求,比如起止点、时间通过电话、短信、网络或者按钮通知 PRT 系统。系统在制定最优方案之后通知乘客车辆到达时间。乘客在约定的时间即可登车,然后车辆会自动将乘客送达目的地。整个过程就像使用电梯一样。

这种轨道网络的实现取决于一种革命性的专利——固定式道岔<sup>[1]</sup>(图6)。传统道岔是通过轨道的摆动将车辆导入不同的方向。这就需要车辆间距足够大,才能留出足够的时间供道岔安全地转换。这对于运力会造成巨大的损失。而且这种损失无法通过提高车速来弥补,因为车辆速度越快,车辆间距



图1 ULTra 交通系统效果图

Fig.1 ULTra traffic system rendering

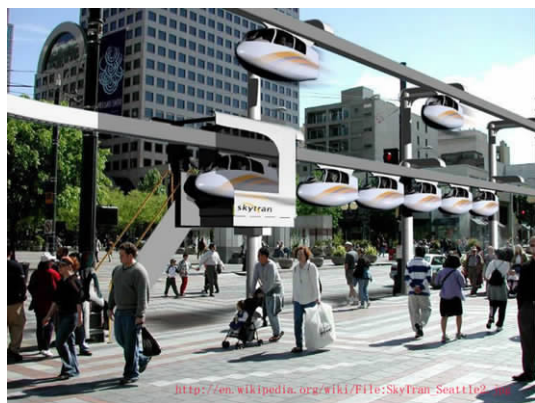


图2 Skytran 交通系统效果图

Fig.2 Skytran traffic system rendering



图3 北方工业大学 PRC 研究项目效果图之一

Fig.3 North Industrial University of Technology PRC research project one of rendering



图4 北方工业大学 PRC 研究项目效果图之二

Fig.4 North Industrial University of Technology PRC research project second rendering



图5 Mister 交通系统效果图

Fig.5 Mister traffic system rendering

越大。唯一的弥补方法就是增加每一辆车的载客量。这种方法不能实现以满足点对点交通需求为主要目的的 PRT 交通模式。

固定式道岔没有任何活动构件,车辆方向由车辆上的机构控制。在道岔上可以自主转向,无需等待道岔完成动作。如果前后车的行进方向不同,他们之间也可以做到零间距行驶。因此,当车辆行驶在同一段轨道上时,所有的车辆可以组成列车零间距行驶;在道岔中,需要转向的车辆自主转向;然后车辆调整速度重新编成零间距列车行驶(图7)。这种行驶方式,同时实现了大量乘客密集输送和不同乘客的个性化需求。

需要特别强调的是,作为车辆运行介质的轨道网络不是二维平面而是三维立体的,乘客借助 PRT 系统可以在三维空间中自由移动,这就为 PRT 系统在山地应用创造了条件。

## 2 PRT 交通模式在山地应用方式

迄今为止,人类对山地的利用远未及人类对平原的利用,重要的原因就在于交通不便造成山地的可达性极弱。



图6 北方工业大学实验轨道道岔

Fig.6 Experiments track turnouts of North Industrial University of Technology



图7 PRT 运行方式示意图

Fig.7 PRT run way schematic

受坡度限制,汽车交通模式下到达山上需要修建蜿蜒曲折的盘山公路(图8)。道路的坡度一般要求 $<15\%$ ,有效宽度一般要求 $>7\text{ m}$ ,因此在山地建设道路开挖的土石方工程量大,山地道路造价高。山地铁路交通要求轨道坡度一般 $>3\%$ ,因此山地铁路的隧道、桥梁多,建设成本高。山地铁路只能用于主干交通,线路网络分布极稀疏。而索道为整体运动,运行能耗大,运量少时不经济,索道不能设支线,中途停车难,索道运输起点与终点固定,使用不方便。索道交通建设成本较高,线路长度受限,线路连贯性差,线路网络断续分布,所以主要用于人流量大的景区、城区登山、过江等。人员步行交通对道路条件要求低,但由于受人的体力限制,行进速度慢、进入深山、高山、陡山等十分困难。

PRT 交通模式下,三维轨道网络可以抵达山地任意一点(图9)。目前,北方工业大学 PRT 课题组



图8 贵州滇缅公路晴隆二十四道拐

Fig.8 Guizhou, Yunnan - Burma Highway 24 - bend

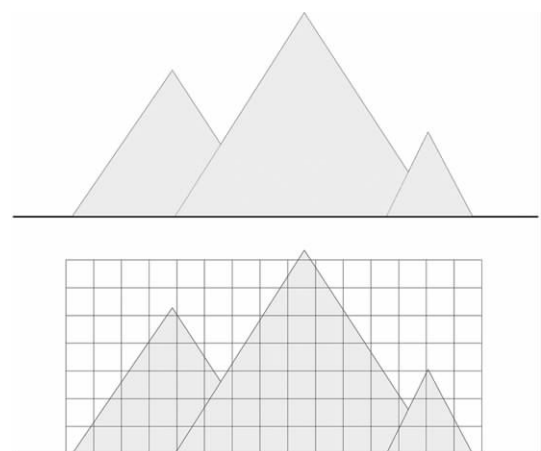


图9 PRT 轨道网络在山地应用示意图

Fig.9 PRT track network in the schematic diagram of the mountain applications



正在进行 PRT 垂直爬坡实验。如果这个实验取得成功,建立三维轨道网络的主要技术难题就都得到了解决。在陡峭山崖上架设 PRT 轨道可通过在山崖上打孔、灌注植筋胶、将连接钢筋植入所打岩孔中,用所植入的钢筋固定挑梁和拉杆,在挑梁的外端固定 PRT 轨道。PRT 交通模式使经济、环保、安全的山地交通变为可能(图 10)。

### 3 基于 PRT 交通模式的山地开发利用设想

#### 3.1 基于 PRT 交通模式的山地住宅

山地居住具有的优点有景观别致,也就是无限风光在险峰,使人亲近大山、增进对自然的了解;空间宽阔,站得高望得远,有利于塑造人性;山地空气好、安静、可种植劳作,有利于健康;利用山地可使人口分布稀疏、减少疾病传染,有利于减少局部重大灾害损失;山地居住可实现能源自足、节约耕地,有利于节约资源。

基于 PRT 交通模式的山地住宅选址一般应选择阳光较为充足、风力资源丰富、取水积水条件好、地质条件好、离中心市镇较近的山地。山地住宅的密度不应太大,山地生活排放的有机物最好就地自然降解,成为山地动植物的养料。山地住宅附近一般应配备一块供种植蔬菜的土地,一处动物饲养空间。由于大型建筑机械不能进山,山地建筑宜采用小型构件拼建。山地建筑的能源可主要或全部依靠太阳能或风能,设蓄电蓄热装置为建筑提供稳定的能源。山地建筑可设蓄水池,通过积蓄雨水、山泉水、收集空气水,解决山地生活用水问题,减少市政设施建设费用;也可通过运送解决生活用水问题。

传统农业、牧业山村依靠耕地、草地、水和阳光生存,交通依靠步行,其选址大多位于平坦向阳的谷地,一般靠近耕地和水源、日照充足、交通便利。

现代非传统山村生存不依靠耕地。现代山村可以为休闲度假山村、作家画家山村、养老山村、旅游山村、各种爱好者山村、IT 山村、教育山村等,这些山村的选址不必受传统山村选址的限制,加之基于 PRT 的支持,选址自由度大,过去不能居住的山地、陡坡、悬崖现在可以居住。PRT 将陡山、荒山、悬崖变为可居山,滨山城市的人口、产业将向山地迁移,在山地区将再分布,在不占用基本农田的前提下,改变滨山城市地区局部人口过分拥挤的情况。PRT 向

陡山、荒山、悬崖延伸,将增加城市可用建设地供应,缓解城市建设用地紧张状况,使城市建设少用耕地或不用耕地,压低城市建设用地价格,使我国城市居民的别墅梦想成真。图 11 为一种典型荒山地,采用 PRT 可将该山地转化为现代居住用地,减少城市建设对耕地资源的占用。

#### 3.2 基于 PRT 交通模式的山地观光旅游

观光旅游是人与自然之间的互动,对人文景观的旅游则可看做是不同文化、不同地域、甚至不同时代人与人之间的交流和理解。PRT 交通模式的广泛应用,会使观光旅游的面貌发生极大改变。观光旅游的目的一般是观赏奇妙的自然风光、探询体验独特的人文环境、探索发现未知的境界、修身炼志;旅游者需要更深入广泛地融入自然,同时旅途必须安全;旅游交通对山地的破坏必须降至最低,旅游更低碳环保;旅游中物资的供应以及废弃物的抛弃必须更经济方便;旅游过程要尽量经济,从而使旅游惠及更广的人群。同传统交通模式比较,PRT 交通模式可以实现对自然生态环境最大限度地保护。

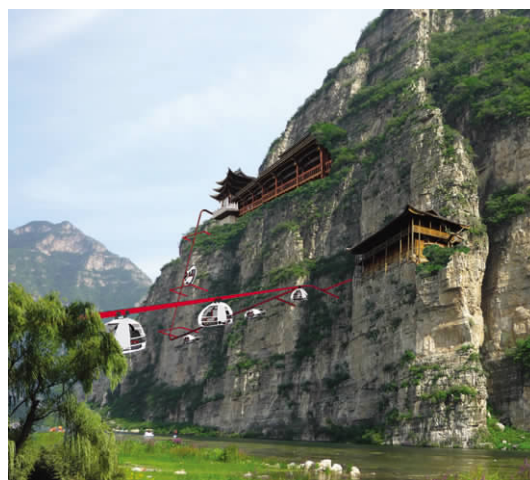


图 10 在山地应用 PRT 效果图

Fig. 10 Rendering in the mountains application PRT

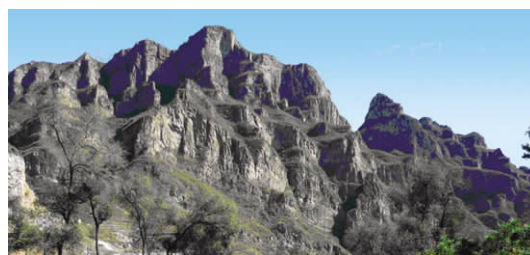


图 11 北京门头沟某山地

Fig. 11 A mountain of Mentougou, Beijing

1. 对山形水系等自然地质地貌的扰动最小。PRT 轨道的架设较之汽车道路所需土地的面积和对山体的改造土方量小得多。对自然山体所做必要的施工是对山体的加固和打桩,对山形水系的扰动可以做到最小。不仅降低造价,保护环境,而且这个过程是完全可逆的。如果以后需要更改轨道系统,自然山形水系不会留下永久巨大的创伤。

2. 对自然植被的破坏最低。PRT 交通模式可以根据自然植被的具体状况灵活地布设,可以选择在树冠下或树冠上穿行,或者跨越河流溪谷,无需大规模砍伐植被。从而最大限度地保护自然植被,保持原有生态系统的稳定。

3. 对野生动物自然生活习性的干扰最小。供汽车行驶的道路将自然地形分割成不同的区域,也将野生动物生活习性所划分的活动区域强行分割。在失去这种因天然习性而形成的活动区域后,野生动物的各种活动受到严重影响甚至威胁到物种的存在。PRT 交通模式通过采用高架轨道以及零污染低噪音的车辆可以有效避免上述问题。

4. 能量消耗低,可以最大限度地减少对化石燃料的依赖。轨道交通的能耗仅为汽车交通能耗的 1/6。由于 PRT 交通方式采用了轻量化车辆以及风能、太阳能甚至人力等多种驱动方式,又进一步提高了能源利用率。从而大幅降低能源消耗,减小对化石能源的依赖,对环境友好。

### 3.3 基于 PRT 交通模式的山地农业、林业、牧业、山地新能源业

山地地区由于交通运输不便,资源分散,利用困难,因而人烟稀少。PRT 在山地应用使人员可方便、经济、快速到达目的地,特别是陡坡山地、高山山地,为陡坡荒山地、孤片平坦山地、高山山地绿色无破坏利用提供条件。PRT 在山地应用有利于山地水土保持,扩大山地作业范围和山地劳作效率,使不可耕山

地变为可耕山地。过去废弃的山地梯地可重新利用,南坡山地梯地甚至可改山地种植大棚。PRT 在山地应用有利于山地产品及时经济安全运出,降低山地产品的生产成本,使山地产业变为经济环保可行。

山地便于雨水收集。通过山地雨水汇集处理利用,可较好解决山地用水问题。PRT 运用,有利于进行集水经营,有利于开展天然山地林业,使山林种植维护、病虫害监控防治、山林巡视防火、林木采伐搬运、朽木收集搬运利用变得经济可行。

山脊、山峰、山口的风力资源相对丰富;山地地区大气相对干净透明,面向南的山坡特别是高山山坡日照条件好,太阳能资源丰富。PRT 在山地应用有利于开展山地牧业养殖业。有利于饲料配送和产品运送;使得山地散养、山沟散养方便经济;使天然养殖、绿色养殖、循环养殖成为可能。PRT 将人口和山地农业、林业、牧业引入山区,为风力资源和太阳能资源的就地利用提供可能,使得山地低碳生活生产成为可能。

## 4 小结

PRT 交通模式在山地应用使山地交通选线更自由、到达范围更广泛、交通保障更可靠,为破解传统山地交通的安全、环保、经济困境提供新方向;将会使人类对山地的距离感消失,山地被人类更充分地利用,人类的生存空间得到进一步拓展。

### 参考文献(References)

- [1] Hu Yingping et al. An autonomous steering Suspended Monorail vehicles [P]. Chinese Invention Patents 200510007655.2, February 8, 2005 [胡应平, 等. 一种自主转向悬挂式独轨车 [P]. 中国发明专利 200510007655.2, 2005 年 2 月 8 日]

## The Application of PRT in Mountain Area

AN Pejun, HU Yingping

(College of Architecture and Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100004, China)

**Abstract:** Experiments on PRT based on Suspension monorail make of Rolled Steel HZ200X100 and self-decide direction switch, compare with road transit pattern, There are less safety trouble, run all the seasons, low cost to construct, land-saving, energy-saving, landform-keeping using PRT in mountain area. The pattern of residence and tourist in mountain area based on suspended PRT is proposed. It is easier to construct, wider to reach, more reliable to run in mountain area when PRT based on Suspension monorail is used.

**Key words:** Personal Rapid Transit; Personal Rapid Chair; monorail in mountain area