

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.01.029

美国旧金山湾区捷运系统

程万慧¹ 魏庆朝¹ 白雁¹ 代正兵²

(1. 北京交通大学土木建筑工程学院 北京 100044; 2. 山东省第六地质矿产勘察院 山东威海 264209)

摘要 介绍美国旧金山湾区捷运系统(Bay Area Rapid Transit System, BART)。论述在旧金山湾区使用BART的重要意义,然后从现有线路、拟建线路规划等方面介绍该线路的总体情况,并对BART的车辆性能以及列车控制系统进行说明,最后分析BART在车票、换乘、环保和安全方面的优势。

关键词 美国旧金山湾区;捷运系统;无线列车控制技术;环境效益

中图分类号 F531.1 **文献标识码** A

文章编号 1672-6073(2013)01-0116-05

1 城市概述

旧金山湾区是指环绕美国西海岸旧金山海湾一带的大都会区,包括9个县、101个城市,面积约18 130 km²,主要城市有旧金山、圣何塞和奥克兰,而举世闻名的硅谷也位于该区。旧金山湾区是美国西岸仅次于洛杉矶的最大都市区,人口共计724万(2006年),也是美国人均收入最高的地区之一,2006年区域内的人平均收入为65 000美元。

为了与旧金山湾区日益发展的经济和社会需要相适应,其公共交通非常发达,覆盖了整个区域。其中,轨道交通主要包括湾区捷运系统(Bay Area Rapid Transit, BART)、半岛通勤列车Caltrain、旧金山市区的城市铁路Muni、湾南圣克拉拉县的轻轨列车Valley Transportation Authority(主要集中在圣何塞市区),另有跨越本区的省会走廊列车Capitol Corridor(从圣何塞通往加利福尼亚州首府萨克拉门托)、通勤列车ACE(从斯托克顿市通往圣何塞)和全美铁路客运公司(Amtrak)

经营的由奥克兰通往芝加哥、洛杉矶等地的旅客列车。BART是由旧金山湾区快速交通管理局经营的捷运系统,共包含6条线路,覆盖了旧金山湾区的核心区域,如图1所示。

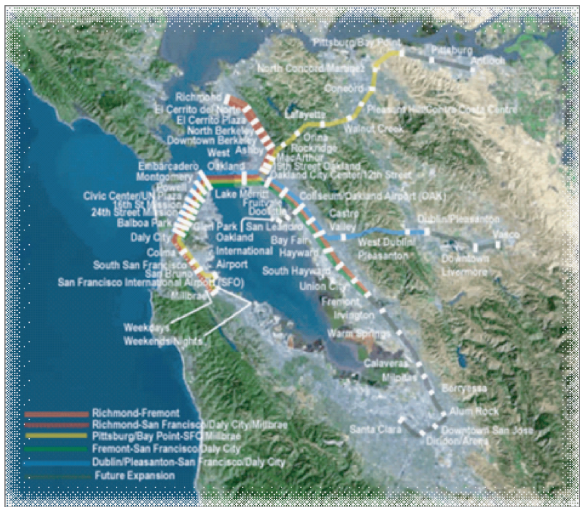


图1 美国旧金山BART线路

2 线路概况

2.1 目前线路情况

BART是旧金山湾区最先进和最有影响力的捷运系统,始建于1964年,1972年9月投入使用,运营线路全长167 km,共有43个车站和680辆车。BART跨越4个县22个城市。在6条线路中,5条线路正在运营,余下的1条已在规划中(图1中用灰色线予以区分),具体起止点如表1所示。

BART的各条线路以位于两端的终点站命名,如“里士满-密尔布瑞线”(Richmond-Millbrae Line)。因此,每次线路延伸后,其名称都要做出相应更改。此处的颜色仅是为了更直观地区分线路,并不作为运营当局命名的依据。在日常生活中,列车通常以行驶方向的终点站作识别,如“(往)里士满列车”。西行列车

收稿日期:2012-02-10 修回日期:2012-03-20

作者简介:程万慧,女,硕士研究生,从事轨道交通线路设计理论与技术的研究,chengwanhui0409@163.com

魏庆朝,男,教授,博士生导师

基金项目:中央高校基金科研业务费专项资金(2011JBM086)

表 1 BART 线路情况

线路区分	起点	终点	线路长度/km
橙色	里士满 Richmond	弗里蒙特 Fremont	57.6
蓝色	达利城 Daly City	都柏林/普莱森顿 Dublin/Pleasanton	75.2
黄色	密尔布瑞 Millbrae	匹兹堡湾点 Pittsburg/Bay Point	70.4
红色	里士满 Richmond	密尔布瑞 Millbrae	54.4
绿色	达利城 Daly City	弗里蒙特 Fremont	73.6
灰色	都柏林/普莱森顿 Dublin/Pleasanton	瓦克斯 Vasco	规划中
	弗里蒙特 Fremont	圣克拉拉县 Santa Clara	规划中

在驶出旧金山前,或者东行列车在驶进旧金山前,车上的电子告示牌都会在目的地一栏中加上“旧金山”的字样;前往旧金山国际机场的列车则会加上 SFO Airport (或 SFO)的字样。BART 平日发车 192 次/天,周末为 190 次/天,早上的发车时间变动较大。

2.2 区域项目规划

根据湾区政府协会(ABAG)预测,到 2035 年,整个海湾地区的人口将比 2000 年的人口多出 34%,将新增 200 多万居民及近 150 万个就业机会。为了适应不断扩大的需求,捷运将继续开发新的项目,目前正在规划中的项目如图 2 所示。

2.2.1 沃姆·斯普林斯支线及圣克拉拉县支线

沃姆·斯普林斯支线扩展项目将从现有的弗里蒙特站以南增加一条 5.4 km 的新线路,如图 3(a)所示。圣克拉拉县运输管理局(VTA)正在计划延长捷运线路至圣克拉拉县,如图 3(b)所示。25.75 km 的支线将会使捷运更快速、可靠和方便,从而为海湾地区两个最拥挤的汽车走廊提供最便捷的运输方式,将有效地缓解该地区的拥堵情况。

2.2.2 利弗莫尔扩展项目

2010 年 7 月,BART 捷运完成了对于利弗莫尔扩展项目的环境影响报告(又称 EIR 计划),这成为扩大三谷地区捷运服务的一个重要里程碑。捷运目前正在为未来的项目环境影响报告(EIR)做准备,与之前的 EIR 计划对比,在扩展项目上会提供更多的技术细节,并对其好处和影响进行详细评估,如图 4 所示。

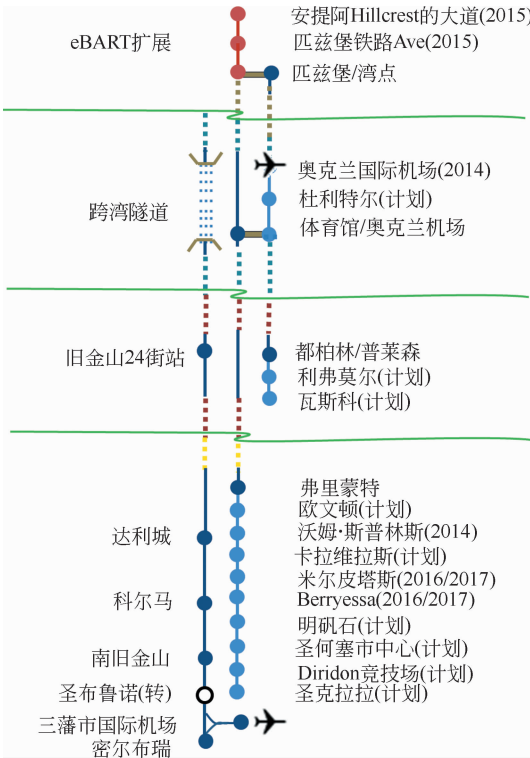


图 2 美国旧金山 BART 线路规划

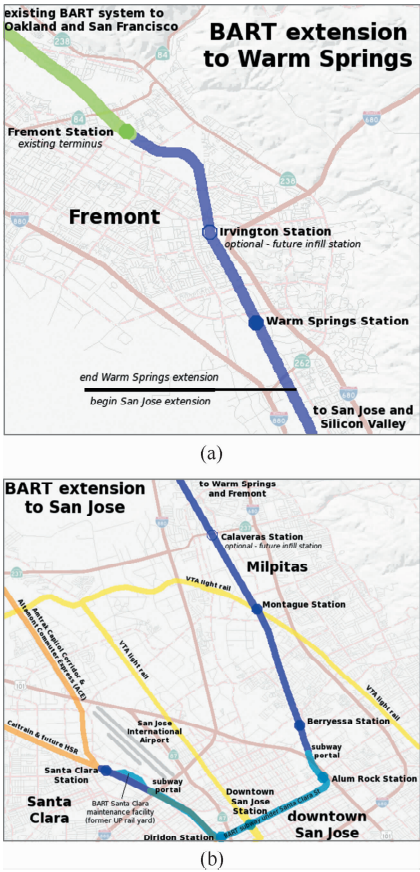


图 3 圣克拉拉县支线



图4 利弗莫尔扩展项目

2.2.3 奥克兰机场连接线

奥克兰机场连接线给整个 BART 铁路系统和奥克兰机场之间提供了一个有效的连接带,将直接连接 BART 体育馆站和奥克兰机场的候机楼,通过专属的空中导轨便捷地运送捷运车辆,方便了大众的出行,如图 5 所示。



图5 奥克兰机场连接线

2.2.4 海沃德综合维修基地

根据规划,除了上述线路,沃姆·斯普林斯和硅谷/圣何塞扩建工程、中央康特拉科斯塔县交叉项目将逐渐展开,BART 捷运在未来 30 年将需要更多的车辆,以满足由于未来区域人口不断增长而产生的需求。因此,捷运需要扩大维修基地的规模并且引进新的仓储设施。在维修基地的西侧,将对车辆的性能进行采集、检测和完善;在维修基地的东侧,则是一片能停放多达 250 辆性能待检车辆的区域。

3 车辆及其信号系统控制

3.1 BART 系统的车辆

截至 2006 年,BART 系统共计拥有车辆 680 辆,包含 A-Car、B-Car、C-Car 以及 C2-Car 共 4 种车型,详细参数如表 2 所示。

表 2 BART 车辆情况

车型	A-Car	B-Car	C-Car	C2-Car
车长/m	22.88	21.35	21.35	21.35
宽度/m	3.2	3.2	3.2	3.2
高度/m	3.2	3.2	3.2	3.2
引进时间/年	1969 (第 1 代)	1969 (第 1 代)	1982 (第 2 代)	1992 (第 3 代)
列车座位/个	72 横向:56 纵向:16	72 横向:56 纵向:16	64 横向:52 纵向:12	68 横向:52 纵向:16
列车配置	带驾驶室的动车,有列车自动操作装置、双向通信系统	不带驾驶室的拖车	带驾驶室,有列车自动操作装置、双向通信系统	折叠座椅、红色闪光信号指示灯
编组位置	列车两端	列车中部	列车两端	列车的任何位置

BART 列车编组最短的为 3 辆,最长的为 10 辆,如图 6(a)所示。车辆的座位均为悬臂式设计,由耐火材料制成,可提供最大的腿部和行李空间,且便于维护保养。尽管各种车型的座位数不尽相同,但单节车辆在高峰时段最多都可搭载 150 人。

由于现有捷运车辆的服役期限过长,因此捷运系统将有顺序地对列车车辆进行更新换代,新的车辆将按照能够满足未来 30 年及以后不断增长的捷运系统客流量需求来设计,如图 6(b)所示。

3.2 信号系统控制技术

BART 由 37 座变电站供电,采用 DC1000V 经第三轨给列车供电,钢轨作为牵引回路。每列车都有牵引和制动系统,与车载 ATC 设备接口。列车信号系统采取基于固定闭塞技术的人工驾驶制式,行车间隔时间较长,导致运营效率不高,且不能精确定位列车。为了解决这些问题,提出采用 AATC 系统,从而实现了列车



(a) 列车外观



(b) 车厢内部效果

图6 BART 列车

定位、安全控制命令的选择和从车站到列车安全性指令的通信 3 个基本功能。

随着技术的发展,又研发了基于无线的列车控制 (radio communication based train control,RCBTC) 技术来改造原有的信号系统。该系统以列车为中心,包括区域控制器、车载控制器、中央控制、数据通信系统和司机显示等子系统。改造后的 RCBTC 系统安装了区域控制器与联锁接口、轨旁光纤网、轨旁无线设备,还安装了车载网络和无线设备,为现行的控制中心和车载控制器提供网络接口,如图 7 所示。

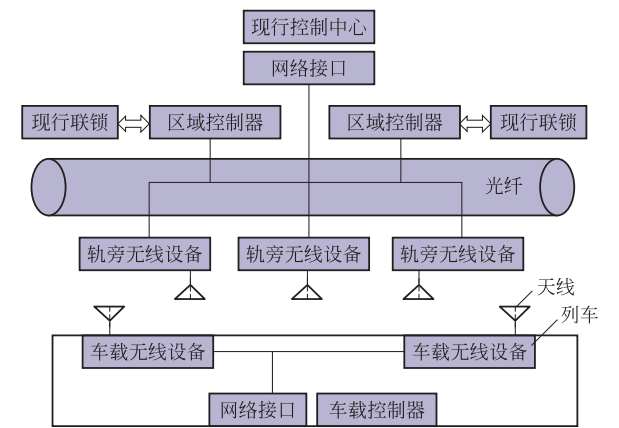


图 7 RCBTC 系统

由此,完成了对轨旁设备和车载设备的改造。

1) 对轨旁设备的改造。将区域控制器安装在轨旁,现行系统提供轨道占用状态和道岔位置,区域控制器在区域内与任一列 CBTC 列车通信,并视其他未装配 CBTC 车载设备的列车为非通信列车。CBTC 列车的定位报告作为列车跟踪的依据,允许在一个数字轨道上运行两列 CBTC 列车,从而克服了因信号制式不同而不能实现联通联运的缺陷。

2) 对车载设备的改造。在列车上安装一套 CBTC 车载控制器,包括所有外围设备,即车载无线设备、车速传感器、车载应答器和天线。驾驶员可以转换运行 CBTC 车载控制器,以及数字编码轨道电路车载控制器。

4 优势

4.1 便捷化

BART 捷运采用一套 5 种不同颜色的票来区分常规票、特殊票和不同群体对应的折扣票 (见图 8),并可接受各种信用卡、ATM 卡和现金的使用,所使用的磁卡票能自动记录进站时间、站名并在出站时扣除乘车费用。BART 的票卡主要包括:蓝色票,是最常见的类型;红色票,残疾人和 4~12 岁的儿童专用,可享受 62.5%

的折扣,有特殊的标志要求(4 岁以下的儿童可免费乘坐);绿色票,65 岁及以上的长者专用,可享受 62.5% 的折扣,购买时需要出示年龄证明;橙色票,是学生专用票,可享受 50% 的折扣,仅限就读于初中和高中的 13~18 岁学生使用;捷运联票,是一种区域交通机构内专用的高值“Flash 通票”,可通用于城市铁路中;EZ 骑士卡,是一种新型的塑料智能收费卡,但终将会被帆船公司的第二期计划(又名“快船卡”)取代。为了方便计算车票费用,乘客可以借助 BART 网站上的票价计算器,对既定起点和终点的行程来计算对应的票价。



图 8 BART 车票

4.2 合理化

在不影响地面交通且方便乘客出行的情况下,BART 进入旧金山和奥克兰采取地下形式,而到人口较少的拉法耶特和核桃溪市则采用高架的方式直接进入市中心。在旧金山市中心最繁华的市场街,BART 和城市铁路同时在地上分上下两层运行,共用地面出入口,以方便乘客换乘和节约地表用地。在与航空运输的衔接上,BART 从建成之初就开始规划旧金山国际机场的延伸线项目,并在体育场车站设有专门的公共汽车 (AirBART),连接奥克兰国际机场。BART 除了在旧金山和奥克兰市中心没有汽车停车场之外,在其他 20 个城市的车站都有免费的汽车停车场,停车位达 42 230 个。在新建的旧金山国际机场项目中,新增车位 5 400 个,极大地方便和吸引私家车主使用 BART。

4.3 效益化

旧金山湾区的 BART 交通在方便、快捷的同时,也带来了一定的社会效益和环境效益:减少了公路交通阻塞,保护了环境,提升了城市竞争力,提高了居民生活水平和质量。据湾区空气质量管理委员会的测算,BART 的运营每天相当于减少了 56 t 一氧化碳的排放。如果没有 BART,上下班时湾区大桥的车辆将增加一倍,塞车时间将比现在大大延长(目前高峰期塞车时间一般为 1 h 左右)。

4.4 功能化

捷运系统采用的是印度的无砟宽轨道(轨距 1.676 m),而不是在美国铁路系统中使用的轨枕和标准轨距(1.435 m),因此所有的维护和支持设备都必须

是专用的。为具有更大的车内空间来保证舒适度,国外市域线列车的宽度普遍较宽,如旧金山 BART 列车的宽度达到了 3.2 m。列车可以实现 130 km/h 中央控制的最大速度,并且提供 53 km/h 的全程平均速度以及 22 s 的中间停车时间(停留时间),加速度可达 1.3 m/s^2 。该系统的每小时载客量为 15 000 人,每日的最大容量为 360 000 人,平均周日载客量为 322 965 人,每年达 9.9 亿人次,极大方便了乘客的出行。

此外,安全性也有极大的保障。BART 的控制中心能对全线所有车辆运行、电力供应、通风和紧急事项进行监控和操作,还能直接控制列车的速度、停站和安全。

参考文献

[1] Bay area rapid transit [EB/OL]. (2012-1-15) [2012-03-14]. <http://en.wikipedia.org/wiki/BART>.

[2] Bay area rapid transit [EB/OL]. (2011-11-4) [2012-03-14]. <http://www.bart.gov/about/projects/index.aspx>.
[3] Bay area rapid transit [EB/OL]. (2011-12-6) [2012-03-14]. <http://www.bart.gov/tickets/index.aspx>.
[4] 彭小兵. 重庆统筹城乡的快速轨道交通战略——借鉴于美国旧金山湾区捷运系统[J]. 中国市场,2010(46): 49-52.
[5] 雷磊,高飞. 轨道交通市域线车辆[J]. 铁道车辆,2009,47(2):16-18.
[6] 方明豹,戚建辉,安静. 旧金山海湾地区轨道交通信号改造及其启示[J]. 城市轨道交通研究,2005,8(1):79-81.
[7] 贾颖伟. 美国旧金山湾区的城市轨道交通[J]. 城市轨道交通研究,2003,6(2):69-73.
[8] 申伟强,宋键. 旧金山湾区捷运(BART)系统简介[J]. 地下工程与隧道,2004(4):52-54.

(编辑:郭洁)

Bay Area Rapid Transit System in San Francisco of USA

Cheng Wanhui¹ Wei Qingchao¹ Bai Yan¹ Dai Zhengbing²

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;
2. 6th Geology & Mineral Resources Survey Institute, Weihai 264209)

Abstract: This article describes the Bay Area Rapid Transit (BART) system in San Francisco, USA. The significance of BART in San Francisco is expounding. The general situation covering the existing line and the proposed route planning is elaborated. Information about vehicle performance and train signal-controlling system is provided. The advantages of BART's ticketing, transfer, environmental protection and safety are also analyzed in the end.

Key words: San Francisco Bay Area USA; rapid transit system; radio-communication-based train control; environmental benefits

(上接第 106 页)

参考文献

[1] 刘中兵,陈艳燕,程琳梅. JSP 技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2009:78-80.
[2] 袁健美. 基于 JSP 的 B/S 动态网站开发及数据库连接[J]. 计算机技术与发展,2007,17(6):29-31,35.
[3] 徐林林. Java Web 编程从入门到实践[M]. 北京:清华大学出版社,2010:38-45.
[4] 陈静,吴健华. 交通应急通信系统设计方案探讨[J]. 中

国交通信息产业,2008(3):72-75.
[5] Liu Chien-Hung. Data flow analysis and testing of JSP-based Web applications[J]. Information and Software Technology, 2006,48(12):1137-1147.
[6] 张岫,杨三成. 关键技术:JSP 与 JDBC 应用详解[M]. 北京:中国铁道出版社,2010:25-28.
[7] 陈亮,张德君. 铁路应急通信系统研究[J]. 通信技术, 2011(7):18-19.

(编辑:郭洁)

Design and Implementation of Rail Transit Emergency Communication System

Tan Zhi^{1,2} Liu Yun¹ Li Xuechao²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044; 2. School of Electric and Information Engineering, Beijing Civil Engineering and Architecture Institute, Beijing 100044)

Abstract: Using JSP technology design and development of rail transportation emergency communications system can keep abreast of site disasters and provide a reliable basis for emergency rescue. The system uses JSP, Ap-ache, JavaBeans and Oracle as the website development tools. The paper conducted a systematic functional analysis and provided the main components of each module, then proposed the essential technologies. In the end, some implementing codes of the system are provided. Test results proved that the system has good stability and expansibility.

Key words: urban rail transit; emergency communications; JSP; JavaBean