

法国有轨电车车辆段特点分析

杨志成^{1,2} 邓 君^{1,2}

(1. 中交第二公路勘察设计院有限公司, 430056, 武汉;

2. 中交城市轨道交通设计研究院有限公司, 430056, 武汉//第一作者, 高级工程师)

摘 要 法国有轨电车车辆段系统性强、布置灵活, 具有较高的研究价值。采用统计分析法, 归纳分析了法国有轨电车分布及特征, 全面研究了法国 tram-train 双模式、胶轮导轨和钢轮钢轨有轨电车的车辆段布置型式, 总结了车辆段整体布局、库房、库线和道岔等的设计特点, 结合实例分析了法国各城市有轨电车车辆配备情况, 提出了单位里程车辆配备指标。借鉴法国有轨电车发展经验, 针对我国有轨电车车辆段建设中存在的问题提出参考意见。

关键词 法国有轨电车; 车辆段; 布置型式

中图分类号 U482.1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.01.003

Characteristics Analysis of Tram Vehicle Depots in France

YANG Zhicheng, DENG Jun

Abstract French tram vehicle depots are systematic, flexibly arranged and of high research value. By adopting statistical analysis method, the distribution and characteristics of French trams are summarized and analyzed. The depot layout formats of French tram-train dual mode, rubber-tyred and steel wheel rail trams are comprehensively studied. The design characteristics of the overall layout of the depot, warehouse, depot line and turnout are summarized. Based on actual cases, the situation of tram vehicle allocation in French cities is analyzed and the vehicle allocation index per unit mileage is proposed. Finally, with reference to the experience of France tram development, suggestions for the problems existing in the construction of tram depots in China are proposed.

Key words French tram; vehicle depot; layout format

First-author's address CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., 430056, Wuhan, China

20 世纪 80 年代, 法国有轨电车复兴, 其初衷是替代城市汽车, 但后来成为城市转型的重要手段^[1]。截至 2020 年 10 月, 法国有 29 座城市开通有轨电车共 80 条, 线路里程 803.8 km。

法国有轨电车历史久远、规模较大, 且不同城市各具特色。例如: 里尔、圣埃蒂安拥有法国仅剩的米轨制式有轨电车, 最早的可追溯到 1881 年; 南锡采用全球仅存的引导式轻型公交 (GLT/TVR), 该系统替代了此前的无轨电车; 米卢斯是法国第一个引进 tram-train 双模式的城市; 巴黎拥有 10 条有轨电车线路, 包含了 tram-train、胶轮导轨、钢轮钢轨等多种有轨电车制式, 但互不连通^[2]。

法国有轨电车共 80 条线路, 配备车辆 1 443 列, 设置车辆段 48 座。车辆段分布广泛、型式多样。本文全面研究法国 tram-train 双模式、胶轮有轨电车和钢轮钢轨有轨电车的车辆段布置型式。

1 法国有轨电车车辆段概况

有轨电车车辆段的实施成本占整个系统基础设施造价的 20%^[3]。车辆段的合理布置, 对节省工程投资、优化运营管理具有重要意义。

1.1 tram-train 双模式有轨电车

米卢斯 3 号线、巴黎 T4 线和 T11 线是基于 tram-train 技术改进的有轨电车, 能够在有轨电车轨道和铁路轨道上运行。目前, 米卢斯 3 号线没有单独停车场; 巴黎 T4 线和 T11 线共用车辆段, 呈横列式布置, 停车及检修设备较为简单, 如图 1 所示。

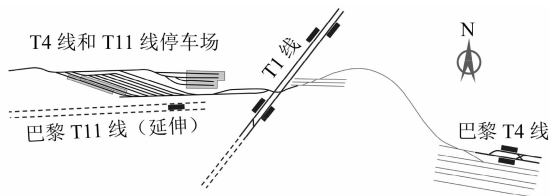


图 1 巴黎 T4 和 T11 线车辆段示意图

Fig. 1 Schematic diagram of vehicle depot of Paris Line T4 and T11

1.2 胶轮有轨电车

胶轮有轨电车根据不同车辆厂商分为胶轮导轨有轨电车 (劳尔) 和引导式轻型公交 (庞巴迪)。

1) 克莱蒙费朗的有轨电车和巴黎的 T5 线、T6 线采用法国劳尔公司胶轮导轨系统,与我国上海张江、天津泰达有轨电车基本一致。法国胶轮导轨车辆段整体规模较小、布置灵活。以巴黎 T5 线和 T6 线为例,车辆段库线区域占比高,功能以车辆停放为主,布置形式如图 2 所示。

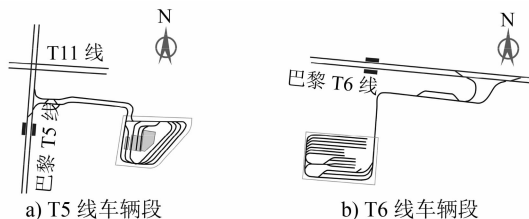


图 2 巴黎 T5 线和 T6 线车辆段示意图

Fig. 2 Schematic diagram of vehicle depot of Paris Line T5 and T6

2) 卡昂引导式轻型公交系统于 2017 年 12 月关闭,2019 年 7 月采用钢轮钢轨系统替代了该系统。目前,南锡有轨电车是全球仅存的引导式轻型公交系统 (GLT/TVR), 该系统是此前无轨电车系统的升级方案替代。南锡 GLT/TVR 爬坡能力较强 (线路坡度超过 13%); 车辆具有方向盘,可独立于导轨运行。车辆段布置较为简单,不单独设置库房,整体为合围的环线,如图 3 所示。



图 3 南锡 A 线车辆段示意图

Fig. 3 Schematic diagram of vehicle depot of Nancy Line A

1.3 钢轮钢轨有轨电车

法国钢轮钢轨有轨电车根据轨距不同可分为:标轨, 矩为 1 435 mm; 米轨, 矩为 1 000 mm。目前, 仅有里尔和圣埃蒂安有轨电车采用米轨制式。

里尔车辆段最为古老, 可追溯到 1909 年 12 月。圣埃蒂安车辆段于 1991 年 12 月投入运营, 采用进、出段贯通式洗车。停车库 8 条停车线贯通式布置, 检修库紧临停车库。库棚全上盖 (含咽喉区), 可减少车辆段对周边用地干扰, 如图 4 所示。

法国其它有轨电车均采用标轨制式, 结合线路里程及车辆配备规模可分为以下 4 类。

1.3.1 复杂网络规模

斯特拉斯堡、格勒诺布尔、里昂、波尔多、南特、

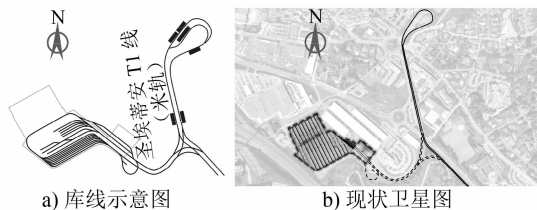


图 4 圣埃蒂安 T1 线车辆段示意图

Fig. 4 Schematic diagram of vehicle depot of Saint-Étienne Line T1

蒙彼利埃、尼斯和奥尔良这 8 座城市的线路长度超过 30 km, 且车辆配备大于 40 列, 是法国最复杂的有轨电车网络。其中, 斯特拉斯堡是法国首个实现有轨电车网络化运营的城市, 共有 6 条线路, 线路全长 46 km, 设置 3 座车辆段。克罗嫩堡车辆段 (Cronenbourg) 单线接轨 Rotonde 车站, 占地 8.5 hm^2 , 停车规模 34 列位, 负责停放 A 线和 D 线车辆; 埃尔绍车辆段 (Elsau) 单线接轨 Elsau 车站, 占地 3.8 hm^2 , 停车规模 29 列位, 负责停放 B 线和 F 线车辆; 基比特泽诺车辆段 (Kibitzenau) 双线接轨 Kibitzenau 车站, 占地 8.1 hm^2 , 停车规模 35 列位, 负责停放 C 线和 E 线车辆。整体来看, 斯特拉斯堡车辆段布局规整, 功能完备, 采用贯通式布置, 运用更加灵活, 如图 5~7 所示。

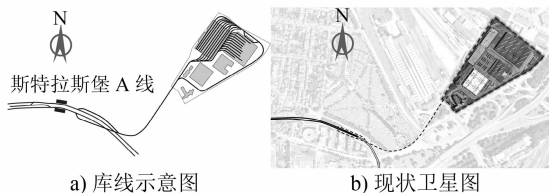


图 5 斯特拉斯堡克罗嫩堡车辆段示意图

Fig. 5 Schematic diagram of Cronenbourg depot in Strasbourg

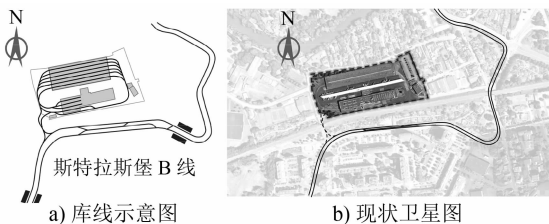
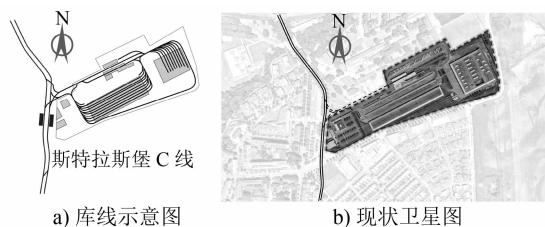


图 6 斯特拉斯堡埃尔绍车辆段示意图

Fig. 6 Schematic diagram of Elsau depot in Strasbourg

格勒诺布尔线路及配属车略少于斯特拉斯堡, 仅设置 2 座车辆段, 布局更为紧凑。埃本斯车辆段 (Eybens) 双线接轨 A 线大广场环岛线路, 停车库与检修库合建, 库棚全上盖; 朱尔斯车辆段 (Gières) 位于 B 线终点, 停车库设置 11 条库内停车线和 3 条库外停

车线,检修库设置 11 条检修线,呈“黑桃 A”形状。格勒诺布尔的两座车辆段均采用尽端式布置,并都设置试车线,试车线长度约 370 m 左右,如图 8~9 所示。

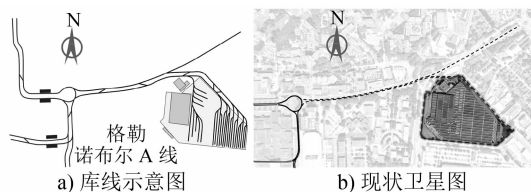


a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 7 斯特拉斯堡基比特泽诺车辆段示意图

Fig. 7 Schematic diagram of Kibitzenau depot in Strasbourg

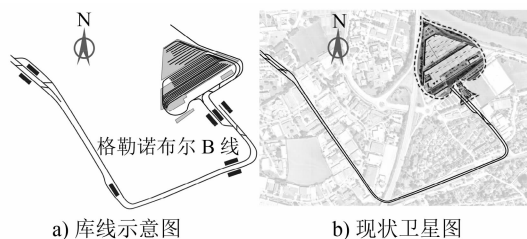


a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 8 格勒诺布尔埃本斯车辆段示意图

Fig. 8 Schematic diagram of Eybens depot in Grenoble



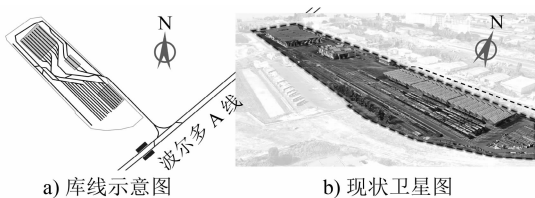
a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 9 格勒诺布尔朱尔斯车辆段示意图

Fig. 9 Schematic diagram of Gières depot in Grenoble

波尔多首次采用接触网+APS (Alimentation Par Sol:地面供电系统) 供电制式,拥有法国除巴黎外最长里程的有轨电车,设置 3 座车辆段(见图 10~12)。巴斯蒂德车辆段(Bastide),整体呈狭长形布置,停车库与检修库倒装布置,库内作业折返较多;阿查德车辆段(Achard),规模最小,设置 9 条库外停车线,功能以列车停放为主;拉贾勒尔车辆段(Jallère),位于 C 线终点,现有 12 条停车线和 6 条检修线呈横列式布置。

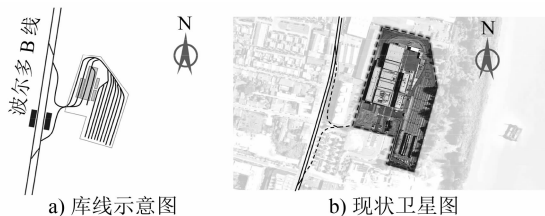


a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 10 波尔多巴斯蒂德车辆段示意图

Fig. 10 Schematic diagram of Bastide depot in Bordeaux

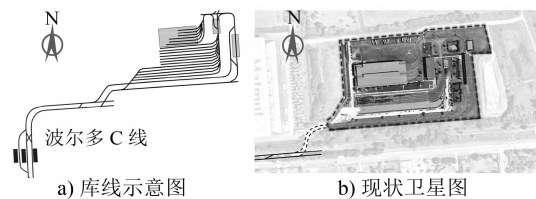


a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 11 波尔多阿查德车辆段示意图

Fig. 11 Schematic diagram of Achard depot in Bordeaux



a) 库线示意图

b) 现状卫星图

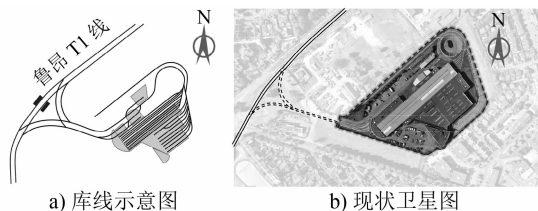
图 12 波尔多拉贾勒尔车辆段示意图

Fig. 12 Schematic diagram of Jallère depot in Bordeaux

里昂设置 2 座车辆段,段布局与斯特拉斯堡类似,但采用尽端式布置。其它城市,如南特、蒙彼利埃、尼斯和奥尔良多结合用地条件,库线布置灵活,车辆段布置相对不规整,在此不展开赘述。

1.3.2 简单网络规模

米卢斯、第戎、马赛、瓦朗谢讷、图卢兹、鲁昂、卡昂、勒芒和勒阿弗尔这 9 座城市的线路里程超过 13 km,且配备车辆 20~40 列。虽然有轨电车运营形成网络规模,但为较为简单的“H”或“Y”型。通常仅设置 1 座车辆段。鲁昂和卡昂的停车库与检修库均为横列式布置,布局也最类似。鲁昂车辆段功能要稍强于卡昂,出入段线采用双“Y”接轨,库内设置试车线。车辆段布置如图 13~14 所示。

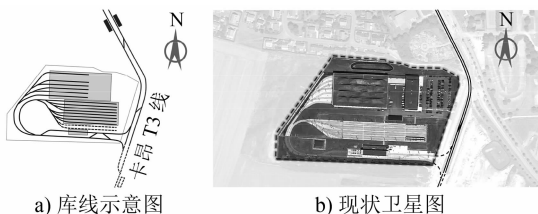


a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 13 鲁昂车辆段示意图

Fig. 13 Schematic diagram of Rouen depot



a) 库线示意图

b) 现状卫星图

图 14 卡昂车辆段示意图

Fig. 14 Schematic diagram of Caen depot

为充分利用用地形状,图卢兹车辆段停车库分两处布置,检修库位于中部,布局紧凑,如图 15 所示。

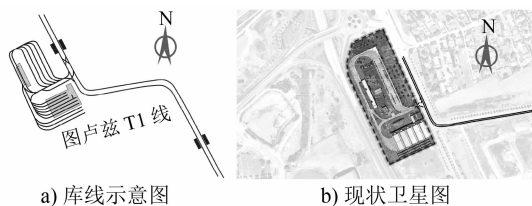


图 15 图卢兹车辆段示意图

Fig. 15 Schematic diagram of Toulouse depot

1.3.3 单线线路

巴黎、贝桑松、兰斯、图尔、布雷斯特和昂热这 6 座城市的有轨电车以单线运营为主,单线车辆配备小于 20 列,未形成网络规模效应。

巴黎 10 条有轨电车线路分散分布在郊区,均为孤立的线路。其中,T1 线、T2 线、T3a 线、T3b 线、T7 线和 T8 线为钢轮钢轨有轨电车。T3b 线车辆段采用物业上盖开发,与周围环境和谐融入,如图 16 所示。巴黎其它线路多设置停车场,库线布置简单,以停车功能为主,如图 17 所示。

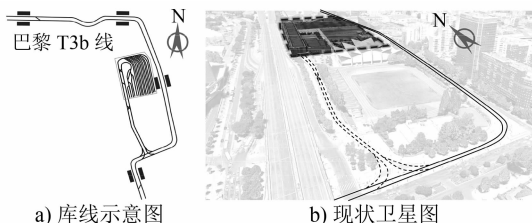


图 16 巴黎 T3b 线车辆段示意图

Fig. 16 Schematic diagram of vehicle depot of Paris Line T3b

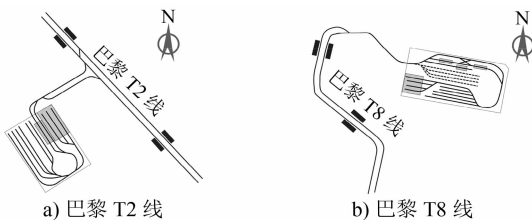


图 17 巴黎 T2 线和 T8 线车辆段示意图

Fig. 17 Schematic diagram of vehicle depot of Paris Line T2 and T8

贝桑松和兰斯各有 2 条有轨电车线路,但重合率均在 90% 以上,本次作为单线线路研究。其中,贝桑松有轨电车造价为 1 700 万欧元/km,低于法国其它项目的 2 000 万~2 500 万欧元/km 的标准。

贝桑松车辆段占地 4.7 hm²,停车库与检修库横列式布置。其中,停车库设置 4 条库外停车线(另

外预留 2 股道),停车规模 24 列位(24 m Urbos3);检修库占地 0.46 hm²,设置 6 条检修线,分别进行检修、洗车、加砂、铰轮和喷漆等作业,如图 18 所示。

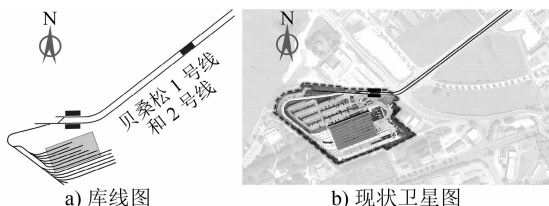


图 18 贝桑松车辆段示意图

Fig. 18 Schematic diagram of Besançon depot

布雷斯特辆段的停车库与检修库呈“T”型倒装布置,类似布置有斯特拉斯 A 线堡克罗嫩堡车辆段(Cronenbourg)和米卢斯车辆段。该布置型式能够更好地适应“折角”地形,如图 19 所示。

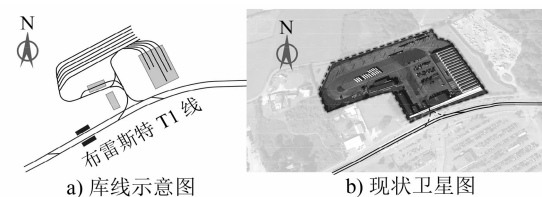


图 19 布雷斯特车辆段示意图

Fig. 19 Schematic diagram of Brest depot

昂热和图尔车辆段相对简略,功能以停车为主,如图 20 所示。

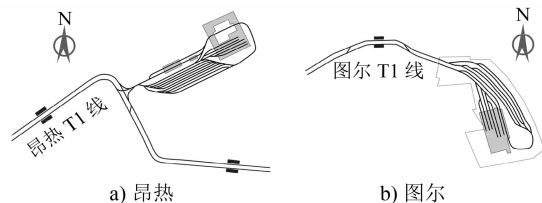


图 20 昂热和图尔车辆段示意图

Fig. 20 Schematic diagram of Angers depot and Tours depot

1.3.4 短小线路

阿维尼翁和欧巴涅这 2 座城市的有轨电车线路里程小于 6 km,配备车辆小于 10 列,将其作为短小线路研究。短小线路车辆段库线布置简单,功能以停车为主,如图 21 所示。

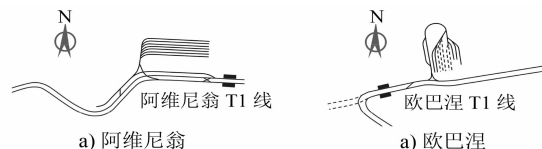


图 21 阿维尼翁和欧巴涅车辆段示意图

Fig. 21 Schematic diagram of Avignon depot and Aubagne depot

2 法国有轨电车车辆段特点分析

1) 法国有轨电车车辆段共 48 座,规模、用地条件和工艺需求各有不同,布置型式多种多样。根据停车库和检修库的位置关系,车辆段整体布置分为横列式、纵列式和倒装式(含“T 型”倒装式)3 类,如图 22 所示。根据统计,法国有轨电车车辆段较多采用横列式布置,共 35 座,约占 73%;纵列式 4 座,约占 8%;倒装式 9 座,约占 19%。

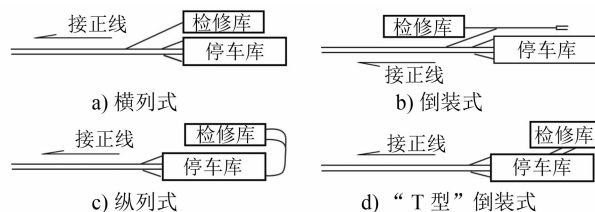


图 22 法国有轨电车车辆段布置型式

Fig. 22 Layout formats of French tram vehicle depot

根据停车库布置型式,车辆段分为尽端式和贯通式(含部分贯通式)两类。尽端式布置可节省一端咽喉,有利于节约土地、简化股道;而贯通式布置能够实现列车两端进、出库,工艺顺畅、作业方便。通常条件下宜采用贯通式布置,用地受限时可采用尽端式布置。法国有轨电车车辆段采用尽端式的有 28 座,约占 58%;采用贯通式的有 20 座,约占 42%。

2) 有轨电车转弯半径较小($\geq 25\text{ m}$),场段内行驶速度低($\leq 15\text{ km/h}$),通常采用普通单开道岔或梯形道岔,如图 23 所示。其中,梯形道岔相对普通单开道岔可节省 1/3 咽喉占地,并便于场段土地形状规整。法国超过 30 座车辆段采用梯形道岔,极大丰富了车辆段的布置型式。

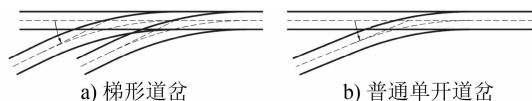


图 23 车辆段道岔类型

Fig. 23 Types of turnout in depot

3) 试车线、牵出线是车辆段重要辅助线路。试车线是对车辆进行动态性能试验的线路,其线路标准应与正线一致。对试车线的有效长度、曲线半径和坡度都有较高要求,通常是制约车辆段布置的重要因素。法国有轨电车设置试车线的城市仅有 5 座为:斯特拉斯堡 2 条,格勒诺布尔 2 条,波尔多、第戎和鲁昂各 1 条。牵出线的主要功能是减少列车转场

对出入线的干扰。牵出线可灵活调转各库线上的列车,但法国仅有少数倒装式车辆段设置具有牵出功能的线路。

4) 停车库是列车停放的场所,通常是车辆段最大的单体建筑,是影响车辆段布局的重要因素。法国有轨电车车辆制式及编组情况相对复杂,列车长度为 23~44 m,因此,各车辆段内停车库布置各有不同。整体来看,法国车辆段布局紧凑,停车线多采用每股道 3~5 列位;结合工程投资,停车线敷设采用库内停车、室外停车和库内室外相结合等形式。

3 参考意义

截至 2020 年 10 月 10 日,我国内地 18 座城市开通有轨电车线路 33 条,总运营里程约 445.712 km,总轨道里程 395.196 km(注:运营里程指每一条运营线路公里数的总和,轨道里程指双线建设里程长度。因此对于有共线运营的有轨电车系统,运营里程总和大于建设里程。)[4]。国内有轨电车虽发展迅速,但起步晚,各城市有轨电车建设相互借鉴,缺少突破。有轨电车车辆段具有系统性强、布置灵活的特点,应在功能、安全和经济平衡方面寻求新的突破和创新。

法国现代有轨电车发展早于我国,既有规模更是我国的两倍,其车辆段的分布与特点对我国具有重要的参考意义。

1) 法国米卢斯、巴黎(T4 线和 T11 线)采用 tran-train 双模式,实现了既有铁路资源的再利用,并降低项目建设成本。我国部分城市同样存在占用城市重要通道的几近废弃的铁路线路,如湖北黄石的铁黄支线(含企业专用线)沿城市重要道路磁湖路和黄石大道敷设,全长 15.2 km,2012 年 5 月停办客运业务。黄石市先后多次开展现代有轨电车、旅游小火车等多种制式的研究,并初步确定改造成小火车专线。建议结合法国有轨电车经验,补充 tran-train 双模式方案,可纳入黄石市正在建设的现代有轨电车系统,实现车辆段、运营管理资源的优化配置。

2) 法国有轨电车车辆段通常规模较小,且与既有线网车辆配备相匹配。我国建有有轨电车的城市(除沈阳)多采用先建设试验线,再逐步建新线路,最终形成网络的模式。本着资源共享、节约土地的原则,多个城市的首座车辆段通常规模较大,且为后期项目做出预留。另一方面,我国更注重车

