

# 地铁车辆架大修维修模式研究

纪红波 李瑜龙 张 亮

(西安市轨道交通集团运营分公司, 710018, 西安//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 通过研究我国地铁公司车辆架大修模式,分析影响架大修的关键因素。以西安地铁为例,对各项关键因素与地铁车辆架大修维修模式选择之间的关联性进行系统分析。结果表明:地铁车辆架大修基地宜采用自主维修+部分部件委外维修模式。

**关键词** 地铁车辆; 架大修; 维修模式

**中图分类号** U279.1

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2022.12.041

## Research on Maintenance Mode of Metro Vehicle Frame Overhaul

Ji Hongbo, Li Yulong, Zhang Liang

**Abstract** By studying the vehicle frame overhaul modes of metro companies in China, the key factors influencing frame overhaul are analyzed. Taking Xi'an Metro as example, the correlation between each key factor and metro vehicle frame overhaul maintenance mode selection is systematically analyzed. Results show that metro vehicle frame overhaul base should adopt the mode of independent maintenance + outsourced maintenance of partial components.

**Key words** metro vehicle; frame overhaul; maintenance mode

**Author's address** Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 710018, Xi'an, China

随着我国城市轨道交通行业的快速发展,各大城市地铁运营里程以及运营车辆数也随之增加,地铁车辆的深度维保模式及维保质量已经成为保障地铁运营安全、企业经营可持续发展的重要因素。

根据我国地铁车辆设计寿命为30年的标准及交通运输部发布的交运规[2019]8号《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》规定,地铁车辆架修间隔不超过5年或80万车km,大修间隔不超过10年或160万车km。但在具体维修模式选择上,行业仍处于探索阶段。因此,研究并确定架大修模式,在保障地铁车辆运营安全的基础上实现经营和安全双赢,具有积极的意义。

## 1 我国地铁车辆架大修维修模式

目前,我国地铁车辆架大修主要采用整车委外维修(即将车辆整体委托给有资质的外部机构负责维修的模式)、自主维修+部件委外维修(即使用地铁公司自己配置的厂房、设施设备及人员来完成车辆架大修检修规程所规定的主要维保项目,而部分核心设备委托设备厂家维保)、合作维修(即由其他具备相应资质的机构和地铁公司共同成立合资公司,合作完成维修工作)等3种主流模式<sup>[1]</sup>,而在发展中,又逐步衍生出一些新的架大修模式作为补充。目前,已有部分城市将前两种模式组合以形成与自主维修+部件委外维修和整车委外维修并行的架大修模式。

在地铁公司发展的初期阶段,多采用自主维修为主、部件委外维修为辅的架大修模式。此模式有利于积累运营、维修经验,培养内部技术人才,如广州、西安等城市的地铁公司<sup>[2]</sup>。当列车检修量急速增加、架大修技术逐步成熟的情况下,综合分析维修成本、基础设施及人员因素,将自主维修+部件委外维修模式逐步过渡到整车委外维修模式。为稳妥起见,部分地铁单位在试点整车维修的时候,一般会先在线网中选取部分线路试点整车委外维修,其余线路仍采取自主维修+部件委外维修模式的并行模式,如深圳市地铁集团有限公司。地铁公司与主机厂合资建厂,采用合作维修模式,前期负责新车本地制造,后期负责架大修业务承揽并开展属地化生产和检修业务,如上海申通地铁股份有限公司<sup>[3]</sup>。上海的地铁列车检修主要由上海申通地铁股份有限公司、中国中车股份有限公司,以及庞巴迪公司、阿尔斯通公司等合资企业来完成。

综上分析,目前我国各地铁公司关于车辆架大修模式仍处于研究和探索阶段,行业内暂未形成一种固定的成熟维修模式,同时受各地区本地及周边市场资源影响,3种维修模式将并行持续一段时间。

## 2 西安地铁车辆架大修现状及需求分析

截至 2020 年底,西安地铁已共计开通 7 条线路,2 个架大修基地。其中,西安地铁 2 号线(以下简为“2 号线”)渭河架大修基地承担西安地铁 1 号线、2 号线、3 号线的架大修作业;西安地铁 4 号线航天城架大修基地承担西安地铁 4 号线(以下简为“4 号线”)、5 号线、6 号线、9 号线等 4 条线路车辆的架大修作业。各架大修基地管辖线路的列车配数如表 1 所示。

表 1 各架大修基地管辖线路的列车配数  
Tab.1 Number of distributed trains on each line under management of major frame overhaul bases

线名	渭河架大修基地 列车配数/列	航天城架大修基地 列车配数/列
1 号线	54	
2 号线	47	
3 号线	70	
4 号线		45
5 号线		67
6 号线		53
9 号线		29
小计	171	194

渭河架大修基地于 2015 年底投入架修生产,初期设有 2 条架大修列位,最大生产能力为 16 列/年。2021 年扩容改造后该基地将具备总计 6 条架大修列位,最大生产能力增加至 50 列/年。其采用自主维修为主,部分部件委外修为辅的模式。自主维修项目主要为具备维修能力、维修周期较短、技术条件成熟的工作,部件委外维修项目为暂不具备自主维修能力、技术门槛高、厂家技术垄断、劳动密集型的工作。以 2 号线 DKZ27 型车辆架大修为例,各系统维修以自主维修为主,轴箱轴承、牵引电机、受电弓、制动系统等部分部件委外维修为辅的模式。其中,自主维修包含修前质量分析、过程质量把控、修竣质量验收、修后质量跟踪等主要环节;部件委外项目维修主要以质量验收为主,辅以维修过程质量监督。

4 号线航天城综合维修基地设计最大架修产能 2 列位(架修周期=20 个工作日/列车停时),远期预留最大产能 7 列位。

根据测算,4 号线车辆预计 2022 年下半年将开展 5 列车的架大修(试修),2023 年开始批量架大

修;西安地铁 5 号线、6 号线、9 号线首列车以到段时间计算,预计 2024 年—2026 年逐步开展架大修。西安地铁 4 号线、5 号线、6 号线、9 号线车辆架大修测算列数如表 2 所示。

表 2 西安地铁 4 号线、5 号线、6 号线、9 号线车辆架大修测算列数  
Tab.2 Calculation of number of frame overhaul vehicles of Xi'an Metro Line 4, 5, 6 and 9

线名	各年份架大修测算数/列				
	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年	2026 年
4 号线	5	14	15	11	
5 号线			15	18	25
6 号线			5	13	8
9 号线			8	13	8

## 3 影响车辆架大修模式的关键因素分析

地铁车辆架大修采用的维修模式,主要受制于维修能力、市场资源和经济性等三大因素的影响。现以 4 号线航天城综合维修基地为例进行分析。

### 3.1 维修能力

#### 3.1.1 定义

地铁车辆维修能力是指在一定的时间内能够完成的地铁车辆架大修的数量<sup>[4]</sup>。根据实践总结,其可进一步细分为设计能力和有效能力。

1) 设计能力:根据维修基地架大修库设计的维修列位、配属设备,结合通用的车辆架大修工时,可计算出理论最大产能,也就是通常所说的维修基地能够完成的最大架大修车辆数量。

2) 有效能力:其为设计能力扣除因个人、时间、设备维修、车辆质量、车辆技术差异、管理机制等因素所造成的维修能力减少的部分。

#### 3.1.2 设计能力与维修模式对比分析

根据 2022 年开展架修,直到 2025 年,航天城维修基地共需完成 4 号线所有 45 列车辆的架大修任务,还需逐步承担 5 号线、6 号线、9 号线的架大修任务。测算航天城维修基地到 2026 年左右,4 号线、5 号线、6 号线、9 号线检修需求为 3.8 列位。目前,2 列位架修能力凸显不足,需启动扩容改造。考虑到后续 5 号线、6 号线、9 号线车辆集中到期需开展架修维保及 4 号线在同期开展大修维保作业的实际,测算航天城维修基地远期实际维保需求为 6.4 列位,远期预留最大维修能力为 7.0 列位,基本能够满足维保需求。

在此设计能力下,对实施不同的维修模式可采取以下对策:

1) 自主维修模式:可考虑库区改造及线网资源共享两种方式进行能力补充。其中库区改造周期宜早于 2022 年前完成;同时,将 4 号线部分车辆分散至渭河维修基地开展架大修,可同步启动远期预留产能的库区改造工作。

2) 委外维修方式:相关产能不足问题,除预留改造有条件实施外,还需增加设备投资、面向社会寻求资源,平均到每列车费用会相应增加百万元左右。

3.1.3 有效能力因素与维修模式对比分析

1) 架大修周期及效率因素。自主维修模式,其管理接口相对较少,有利于提高工作效率。同时架大修周期可以根据正线运营需要进行适当调整,以确保正线用车需求及生产计划的灵活性。委外维修模式下,因承修方对列车技术状态的熟悉度较低,维修前需要充分对接车辆状态信息和现场使用改造需求,也无法使用原主机厂资源(非原造原修时),且不利均衡微调施修计划,存在维修质量降低及维修周期较难按计划兑现的风险。在架大修周期及效率的因素下,采用自主维修相比为更优。

2) 人员技能因素。从自主维修需要分析,目前西安地铁已经实施了 3 条线路的车辆自主架修及 1 条线路的大修工作,人员已经具备车辆架大修领域的技术、资源、维修能力的自主掌控,可在 4 号线建立起有效的车辆维修能力。这对避免日后供应商的技术垄断,培养地铁车辆的架大修人才和积累技术经验、形成企业的核心能力是积极的有利因素。而在整车委外维修模式下,地铁运营公司参与度有限,对委外单位维保人员的资质、技能、来源无法做到完全掌控,同时,存在委外单位技术垄断的风险,不利于运营方全面掌握架大修技术。结合企业长远发展对核心技术的依赖性,人员技能因素下,采用自主维修为更优。

3) 维修可靠性因素。自主维修模式下,可有效结合年检以下修程、正线发生的行车故障,开展针对性维修,对车辆各系统、部件的长期隐患故障或疑难故障开展深度整治或技改,同时也可根据设备运行状态实施部分专项整治,其维修手段灵活,维修质量、可靠性有较好的技术保障。而委外维修,承修方主要是例行合同中规定的维修内容,并且仅对车辆系统、部件存在的易发现、易处理故障开展

维修,对于系统、部件长期存在的隐性故障排查、疑难故障整治的维修深度往往不够;委外维修手段相对固化,不会根据系统设备运行状态的变化,而增加超出合同范围以外的专项整治、技改等维修手段;同时,也存在为了降低成本大量使用国产其他品牌部件替代备件,导致与原车原始配置发生变化,从而产生不可控的技术风险,导致维修可靠性相对较低。综合分析维修可靠性因素下,采用自主维修为更优。

4) 物资储备因素。自主维修模式下,为降低维修风险,须储备充足的备件、辅材、耗材等物资,易造成备件、辅材的堆积、闲置。委外维修下,承修方有配套供应商作为物资储备支撑,采购平台较为完善,物资调配方便,周期较短、成本较低。从现阶段看,物资储备因素方面,委外维修稍占优势。但通过运营管理制度的不断完善,可以弥补自主维修存在的不足,达到与委外维修相同的管理水平。

5) 管理风险因素。自主维修模式下,技术含量较高的系统维修风险大,维修后质量保障需要自主负责,运营指标自行承担,运营压力较大。委外维修下,一般合同约定为承修方承担由车辆质量问题导致的重大事故主体责任,地铁公司承担部分管理责任,这样可以最大限度地规避风险。同时承修方具有灵活的架大修管理模式及资金来源,可满足 4 号线、5 号线、6 号线及 9 号线后期集中开展架大修修程的灵活性,并承担售后保障和运营考核指标,减轻因 5 号线、6 号线及 9 号线车辆同时开展架大修的生产组织压力及现有场地维修能力不足的设计缺陷。考虑管理风险因素下,采用委外维修相对较优。

通过对以上 5 种因素的分析,有效能力对应不同架大修维修模式的优劣性,按照优、良、中、差 4 个等级如表 3 所示。

表 3 有效能力对应不同维修模式的优劣性等级  
Tab.3 Effective capability correspondent to the superior/inferior levels of different maintenance modes

有效能力因素	有效能力对应不同维修模式的优劣性等级	
	自主维修模式	委外维修模式
架大修周期及效率	优	中
人员技能	优	差
维修可靠性	优	良
物资储备	优	优
管理风险	中	良

3.2 市场资源分析

2017 年,中车长客股份公司与西安地铁公司合资成立的子公司——西安中车长客轨道车辆有限公司在西安成立,主要经营范围为:城市轨道交通车辆、城际车辆及部件的装配、试验、调试、修理和销售;城市轨道交通车辆和城际车辆维保服务、租赁服务、技术咨询和技术服务。

从目前西安周边的市场资源来看,具备地铁车辆维保能力的外部专业化公司仅有西安中车长客轨道车辆有限公司 1 家。相较于东南沿海城市,西安本地的车辆维保市场化资源相对紧缺,运营单位选择性有限,现阶段外部市场资源不利于西安地铁车辆整体委外维保业务的良性发展。运营单位在实际自主维保过程中,宜考虑将局部部件予以委外维保。

在部件委外维保过程中,运营单位应从经济性、技术性(可行性及核心技术)、安全性、市场性等要素进行综合分析<sup>[4]</sup>。综合以上要素,确定以下部件或项目应委外维修:

- 1) 市场资源充裕,维修工时长、占用人力多,并且不会对设备安全产生影响的部件,比如车体油漆翻新、车体清洁、阻尼浆修补、空气管路检修等。
- 2) 对于不具备自主维修能力的项目,比如空调大修、车体裂纹补焊等。
- 3) 对于技术门槛高,厂家技术封锁的部件,比如制动系统阀类设备、减振器检修、轴箱轴承检修、齿轮箱轴承检修等。
- 4) 对于有专业资质要求的部件,比如压力容器检测、储风缸检测等。
- 5) 架大修作业量小,但是投入的设备成本大的项目,比如转向架构架三坐标检查、变形构架矫正、胶泥缓冲器大修等。

3.3 经济性分析

3.3.1 经济指标

通过对地铁车辆架大修全过程工艺的研究分析,自主维修和委外维修两种不同模式下地铁公司涉及的经济指标主要包含 10 项,如表 4 所示。

3.3.2 经济指标分析

- 1) 自主维修共涉及运营支出的经济指标 8 项,各指标测算方法如下:①维修成本,以单列车架大修所需的部件委外、备件、耗材、劳保等进行测算;
- ②车辆维保人工成本,按照 1.51 人/车配备比例,测算每列车需配备的人数,并结合当地人员工资水平

表 4 架大修全过程经济指标统计  
Tab.4 Statistics of economic indicators in the whole process of frame overhaul

运营经济指标	自主维修	委外维修
维修成本(含消耗备件、耗材、劳保)	☆	-
车辆维修人工成本	☆	-
周转件成本	☆	-
委外维修成本	-	☆
委外管理人员成本	-	☆
厂房折旧费	☆	-
设备折旧费	☆	-
设备维保人工成本(工艺设备操作及维护人员)	☆	-
保洁人工成本	☆	-
用水、用电成本	☆	-

注:☆表示包含;-表示不包含。

进行成本测算;③周转件成本,根据不同系统,通常按一条线路配备 1.5 列车为标准,以 30 年为使用期,按照每 5 年 1 次的周期测算单列车每次架大修分摊的成本;④厂房折旧费,以厂房建设总价为基础,按照 50 年使用期,测算每年的折旧费;⑤设备折旧费,以设备采购费及后期投入的改造费用为基础,按照 30 年使用期,测算每年的折旧费;⑥设备维保人工成本,结合架大修工作量,核算需配备的工艺设备操作及维护人员数量,以当地人员工资水平进行成本测算;⑦保洁人工成本,结合架大修库面积核算需要配备的保洁数量,以当地保洁人员工资水平进行成本测算;⑧用水、用电成本,在架大修库单独安装计量表计,以实际计量的水、电数据为依据,按照当地水、电费单价核算能耗成本。根据上述测算标准,结合国内主要城市实施经验以及地铁公司实际现状,按照 B 型车 6 辆编组,基于有一定管理经验及技术支持的基础上,估算架修的自主维修成本约为 500 万元/列,大修约为 1 600 万元/列(仅供参考)。

- 2) 委外维修共涉及运营支出的经济指标 2 项,各指标测算方法如下:①委外维修成本,按照整体委外为总价包干模式,委托有资质机构或合资公司开展维修,其中委外架大修费用包括车辆及设备维修材料、架大修场地改造、委外人员成本、架大修所需设备、周转件(调用)等费用,此费用因各地市场资源不一而有所不同;②委外管理人员成本,地铁运营公司为开展委外项目管理所配备的运营人员,

专门负责对接架大修委外管理工作,包括项目负责人、合同结算人员、质检验收组(过程质量管控)、技术人员(优化修程修制、技术改造、对接委外单位技术工作、事故调查等)、生产调度人员等,一般控制在 10 人左右,以当地人员工资水平进行成本测算。根据上述测算标准,参考国内主要城市整体委外维修项目费用及公司既有线路的架大修经验,预估 B 型车 6 辆编组整体委外维修成本估算架修约为 670 万元/列,大修约为 1 740 万元/列(仅供参考)。

3) 综合以上对自主维修模式与整体委外模式的经济性分析,自主维修模式的经济性占据优势,随着公司管理经验的成熟、人员技能的提升,自主维修成本有望得到进一步降低。

### 3.4 对比分析

综上,通过对维修能力、市场资源、经济性等的综合分析,采用自主维修具有明显优势,但考虑到市场资源因素及技术掌握需要时间消化的实际情况,可辅以部件委外方式。

#### 3.4.1 自主维修模式

自主维修模式实现了车辆架大修领域技术、资源、维修能力的自主掌控,对于全套架大修技术、管理能力能实现最大程度的储备,并可辅助低级别检修并开展故障处理,有助于实现资源共享。结合西安当地市场资源及经济实际情况,自主架大修经济性相对更高,每列车较委外架修可节约费用约 170 万元,大修可节约费用 140 万元(仅供参考)。

#### 3.4.2 整车架大修委外模式或合作模式

目前国内各地铁公司都在探索并开展整车架大修委外模式或合作模式此两类模式,具有前期投入成本低、筹备周期较短、采购资源丰富、不受维修产能限制等优势;但采用该两类模式的承修机构具有技术垄断性质,存在运营公司无法掌握架大修的核心技术风险,后期若一旦与承修机构合作中断,

将造成车辆失修的风险。从成本方面分析,随着时间推移,全委外费用会呈上涨趋势,且上涨趋势有不可控风险,届时可能会导致受制于外部承修机构的局面。另外随着无人驾驶新技术的实施,既有线改造是必然的趋势,若采用全委外形式,后续在技术创新上也将受制于外部承修机构。

## 4 结语

综上所述,地铁车辆架大修基地宜采用自主维修+部分部件委外维修模式,以有利于培养地铁公司架大修自主维修的管理及技术团队,增强运营企业核心竞争力;也有利于将架大修业务推向外部市场、服务行业,打破单靠线路票款收入、运营人不敷出的现状,并可培养新的增长点。

## 参考文献

- [1] 乔素华. 地铁车辆架修模式探讨[J]. 基层建设, 2017(19):362.  
QIAO Suhua. Discussion on the mode of metro vehicle frame overhaul[J]. Basic Level Construction, 2017(19):362.
- [2] 任翠纯, 胡瀚文. 广州地铁车辆架大修维修模式研究及优化建议[J]. 机车电传动, 2016(2):85.  
REN Cuichun, HU Hanwen. Research and optimization suggestions on maintenance mode of Guangzhou Metro vehicle major overhaul[J]. Electric Drive For Locomotives, 2016(2):85.
- [3] 陈佳. 上海地铁车辆架大修维修能力评估及优化建议[J]. 科技创新导报, 2020(9):70.  
CHEN Jia. Evaluation and optimization suggestions on maintenance capability of Shanghai Metro vehicle major overhaul[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2020(9):70.
- [4] 何霖. 城市轨道交通车辆大架修管理[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社, 2014:180.  
HE Lin. Major overhaul management of urban rail transit vehicles [M]. Beijing: China Labor and Social Security Publishing House, 2014:180.

(收稿日期:2021-07-31)

## 敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

