

城市轨道交通降低运营成本刍议

梁广深

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京//正高级工程师)

摘要 因建设成本和运营成本较高,城市轨道交通运营企业入不敷出的现象较为普遍,大多依靠政府财政补贴维持运营。从工程建设和运营管理等方,提出了一些城市轨道交通运营减亏措施,如缩小列车编组、提高列车满载率、减少列车牵引能耗、降低车辆维修成本、改革运营管理方法等,以期提高运营效益,减少企业亏损和政府财政补贴。

关键词 城市轨道交通; 列车编组; 牵引能耗; 运营成本; 客运强度

中图分类号 U2-9

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.002

Discussion on Urban Rail Transit Operation Cost Reduction

LIANG Guangshen

Abstract Due to the high construction and operation cost, the revenue of urban rail transit operation enterprises failing to cover the cost is a common phenomenon, the majority of whom rely on government financial subsidies to maintain operation. In order to reduce the operation loss, from the perspective of engineering construction and operation management, operation loss reduction measures are put forward, such as reducing train formation, increasing train full load ratio, reducing train traction energy consumption, reducing vehicle maintenance cost, and reforming operation management methods, in order to improve operating efficiency and to reduce corporate losses and government financial subsidies.

Key words urban rail transit; train formation; traction energy consumption; operation cost; passenger transport intensity

Author's address Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 100037, Beijing, China

城市轨道交通虽对缓解城市交通拥堵情况,促进地区经济发展起着重要作用,但其运营亏损情况仍较普遍。中国城市轨道交通协会公布了2016年城市轨道交通每公里公里的运营收支情况(见图1),在国内24个城市中,除深圳、合肥地铁盈利外,其他城市都是亏损运营;这对企业和国家都是一个沉重

的包袱。

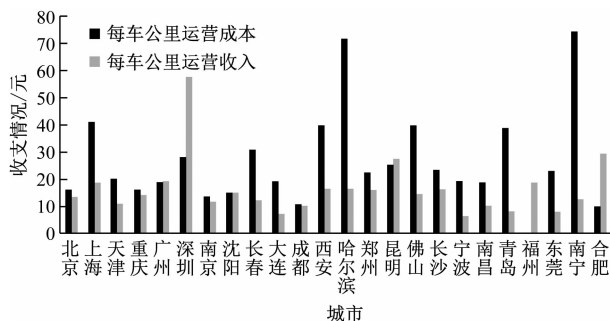


图1 2016年城市轨道交通每公里运营收支情况

2018年,全国城市轨道交通平均每人公里运营成本为0.84元,每人公里运营收入为0.48元,运营收入仅占运营成本的57%,亏损部分由当地市政府财政进行补贴。《都市快轨交通》2018年第2期刊登了《北京市轨道交通财政补贴模型研究》一文,提到北京市政府给地铁的财政补贴:2013年为36.44亿元,2014年为42.69亿元;2015年地铁起步价票调为3元后,年补贴额为34.32亿元。该文按2020年北京市规划线网长1000 km测算,市政府每年需补贴75.42亿元。到2025年线网长1360 km,预计补贴额将达103.78亿元。这只是北京市一个城市的补贴额,全国33个城市的补贴额加起来是个巨大数字。将来还有数十个已批准建设的城市开通运营以后,亏损补贴额可能是个天文数字。因此,研究城市轨道交通运营减亏,降低运营成本,是业内同仁面临的紧迫任务。

1 国内外城市轨道交通运营概况

文献[3]提到,全世界已有72个国家的490多座城市开通了城市轨道交通运营,线网运营长度达14219.36 km,年客运量为600.54亿人次。从运营收益分析得出结论,各国地铁普遍亏损,大多靠政府补贴维持运营。亏损额取决于系统客运量大小,通常以客运强度来衡量。客运强度越高,系统运营

效益越好。该文对国内外轨道交通客运强度前10位城市的排名情况统计如图2所示。

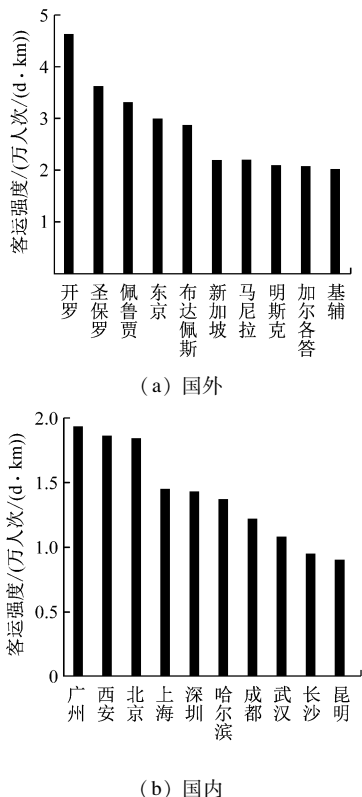


图2 国内外轨道交通客运强度前10排名情况

由图2可见,世界排名前10位城市线网的平均客运强度为2.5~5.0万人次/(d·km),国内前10名城市的客运强度在2.0万人次/(d·km)以下,国内城市与国外存在巨大的差距。除此之外,还有18个城市的客运强度在1.0万人次/(d·km)以下。以此推理,我国城市轨道交通的亏损状况比国外更加严重。

经验说明,城市轨道交通运营亏损状况取决于建设成本、客运强度和线路网长度。深圳地铁自主创新研制六大装备系统,每公里正线的装备投资仅为进口装备的45%。在起步票价2元的情况下,靠票款收入就可涵盖直接运营成本,并有盈利。开罗有地铁运营线3条,长77.9 km,日均客运量达400万人次,平均客运强度5.13万人次/(d·km),是世界之最。东京有地铁运营线13条,长334.1 km,日均客运量为1100万人次,客运强度为3.3万人次/(d·km)。北京地铁线网长617 km,日均客运量为1197.53万人次,客运强度为1.94万人次/(d·km)。上海地铁线网长670 km,日均客运量1147.73万人次,客运强度为1.71万人次/

(d·km)。

由此看出,东京、北京和上海地铁的日客运量相近,其线网越长,客运强度越低,运营效益也越差。

2 城市轨道交通运营亏损原因及减亏措施

2.1 初期列车6辆编组运行造成严重浪费

地铁设计规范规定,城市轨道交通的运输能力,以初期、近期、远期预测客流量,分3阶段设计。列车是运送乘客的载体,开通运营理应按照近期、远期客运量确定列车编组辆数。北京地铁1号线、2号线、八通线、13号线,在建成后列车均采用4辆编组运营,其优点是行车间隔短,方便乘客,列车日平均满载率达50%,运营成本低。

但是,目前新建的城市轨道交通挑战设计规范,新线开通列车按远期客运量一次上6辆编组。但因新线的客运量较小,造成大马拉小车式的运营,车辆空驶率较高,浪费大量电能和车辆修理费,造成企业严重亏损。例如乌鲁木齐地铁1号线列车6A编组,日客运量仅3.1万人次。石家庄地铁6A编组,2条线日客运量为25.7万人次。福州地铁列车6B编组,日均客运量16.5万人次。而与其同为6B编组的北京地铁1号线、10号线,每日客运量达到134.75万和192.11万人次。由此可见,新线开通跑6辆编组造成的浪费是惊人的。

以一条长30 km、每天开行400列车的线路进行比较,采用4辆编组的列车,每天运行工作量为 $S=48\,000$ 车·km/d,6辆编组列车的 $S=72\,000$ 车·km/d。即初期采用6辆编组列车运营,比4辆编组列车每天多跑24000车·km。以2016年全国平均运营成本27.6元/车·km计算,6辆编组列车每天要多支出运营成本66.24万元,这是运营企业亏损的主要原因。

过去能跑4辆、6辆编组运营,得益于列车为3M3T编组,可实行4辆、6辆编组运行。现在新造的车辆均为4M2T编组,它以2辆动车和1辆拖车作为一个动力单元,必须2组车连挂才能运行,由此堵死了跑4辆编组的可能性。因无选择的余地,各运营单位只能跑6辆编组,运营成本高,这是目前造成轨道交通运营企业严重亏损的主要原因。

关于列车分4辆、6辆编组运营的扩编问题,实践证明并无困难。北京地铁1、2号线采用同类型车辆扩编,拆开4辆编组列车,用同型号的车辆改为6辆编组。八通线和13号线是在4辆编组列车中间,

插入一组新造的车组扩编为 6 辆,最后的扩编工作于 2007 年结束。

2.2 车辆制造与运营需求脱节抬高运营成本

21 世纪初,我国地铁进入了 VVVF(变频变压调速)牵引时代,B 型车采用 6 辆 3M3T 编组。其优点是可根据客运量大小采用 4 辆或 6 辆编组运行,方便乘客,运营成本低。近年新造的 B 型车采用 4M2T 编组,列车只能 6 辆编组运行。我国有大小城市上百个,客运量大小不同,4M2T 编组列车对二、三线城市的轨道交通完全不适用。但因找不到适合本地客运量的车辆,只能选择 6 辆编组的列车运营,造成了上述种种不合理的运营状况,导致企业严重亏损。当前,我国城市轨道交通迫切需要车辆多元化,提高运营效益。

深圳地铁采用 A 型车 4W2T 编组,列车只能 6 辆编组运行。香港地铁公司经营的深圳地铁 4 号线,筹划分期采用 A 型车 4 辆、6 辆编组运营,但现有列车只能跑 6 辆编组。他们对 A 型车进行了技术改造,在保持列车功率 3 000 kW 不变的条件下,以大功率牵引电机更换既有的牵引电动机,将 A 型车改造为 3M3T 编组,实现了 A 型车 4 辆、6 辆编组运行,对车辆多元化作出了积极贡献。该经验有助于减少全国城市轨道交通的运营亏损情况,提高运

营效益。

2.3 盲目增加动车数量提高运营成本

地铁交流车是在直流电动车转向架上,以交流牵引电动机取代直流电机形成的。因同体积交流电动机的牵引力是直流电动机的 2 倍以上,所以在原有列车中只需一半车辆配置动力,就可保持列车功率不变。日本和中国香港地铁的交流车,大多采用动车与拖车比例 1:1 配置,4 辆编组为 2M2T,6 辆编组为 3M3T,8 辆 4M4T,12 辆 6M6T。我国高铁“复兴号”动车组,时速 350 km/h,采用 8M8T 编组。

近年在轨道交通中兴起一股加大列车动力之风,把动车与拖车的比由 1:1 改为 2:1,即 6 辆编组列车为 4M2T,9 辆编组为 6M3T,12 辆 8M4T。还有的改为 3:1,即 8 辆 6M2T 编组,更有甚者采用 5M1T 编组。由此带来的负面效果是:① 增加了车辆的购置成本;② 增加了牵引电能消耗;③ 增加车辆修理费支出;④ 大功率列车的积热促使隧道温度上升,污染环境;⑤ 提高了系统运营成本,加剧企业运营亏损。

作者曾针对一条 30 个车站的线路,对 B 型 4M2T 和 3M3T 编组列车进行牵引能耗专题研究,数据汇总如表 1 所示(为压缩篇幅,将表格的中间部分缩减,只列出合计值)。

表 1 B 型车 AW3 运行速度 95 km/h 牵引数据汇总表

区间名称	B2 型车(4M2T)			B1 型车(3M3T)		
	区间运行时间/s	牵引电能消耗/kWh	再生电能/kWh	区间运行时间/s	牵引电能消耗/kWh	再生电能/kWh
悦港大道—椿萱大道	69	27.65	16.38	76	26.02	15.33
椿萱大道—石栏	69	27.97	15.45	76	25.28	13.66
合计	2 957	958.29	481.98	3 168	912.31	455.32

从表 1 可见,4M2T 列车单程牵引耗电量为 958.29 kWh,3M3T 列车牵引耗电量为 912.31 kWh,4M2T 列车比 3M3T 列车多耗电 45.98 kWh,增加牵引耗电量 5%。对于 6M2T 和 5M1T 列车的牵引耗电量肯定会更高。

2.4 改革列车驾驶模式节约牵引电能

电费支出约占轨道交通运管成本的 30% 左右,其中,列车牵引耗电量约占 50%。因此,减少列车牵引电能消耗,是降低运营成本的有效措施。地铁列车有自动驾驶和人工驾驶两种模式。正常运营时由 ATO 自动驾驶列车运行,司机进行监视。ATO 驾驶列车的运行程式为:牵引加速—巡航运行—制动停车。所谓巡航运行,就是让列车在区间

以某一速度“等速运行”,列车的牵引系统处于工作状态,遇下坡道制动调速,遇上坡道牵引加速。因此,巡航模式的缺点是,未利用列车自身的惯性动能,其牵引耗电量较大。

当列车运行在无码区段时,须切除 ATO 采用人工驾驶模式。列车由司机驾驶运行,其运行程式为:牵引加速—惰力运行—制动停车。在人工驾驶模式下,列车起动到目标速度以后,司机控制器手柄回 0,牵引系统断电。列车依靠自身惯性在区间惰行,到前方车站制动停车。因此,惰行模式比巡航模式节约牵引电能。B 型 3M3T 列车在 44‰坡道区段的牵引耗电情况如表 2 所示。

表 2 巡航模式与惰行模式的牵引耗电量比较表

区间名称	区间长度/m	惰行模式		巡航模式	
		区间运行时间/s	牵引耗电量/kWh	区间运行时间/s	牵引耗电量/kWh
悦港大道—椿萱大道	1 016	76.20	21.32	69.23	59.27
椿萱大道—石栏	1 074	82.36	13.92	71.31	26.93
石栏—鲁家沟	1 383	101.14	23.00	86.48	18.11
鲁家沟—甘悦大道	1 043	83.21	35.19	71.18	38.57
甘悦大道—玉河沟	1 161	87.30	51.14	76.22	40.79
合计	5 677	430.21	144.57	374.39	183.67

表 2 可见,惰行模式的牵引耗电量为 144.57 kWh,巡航模式的牵引耗电量为 183.67 kWh,惰行模式比巡航模式减少能耗 39.1 kWh,节约牵引电能 27%。目前已有运营单位限制使用自动驾驶模式。

作者建议有关部门升级列车驾驶软件,常态化采用惰行模式运行,以降低列车牵引电能消耗,减少企业运营亏损。

2.5 改革车辆定检标准减少车辆修理费支出

车辆维修费支出在轨道交通运营成本中占有较大比重。《地铁设计规范》将车辆保养分为定期检修和日常维修两级。定期检修分为大修、架修和定修三等(见表 3)。规定车辆运行 120 万 km(间隔时间 10 a)进行大修,运行 60 万 km 进行架修。以此计算列车平均每年运行 12 万 km,每月运行 1 万 km。

表 3 车辆检修修程和检修周期表

保养种类	检修修程	检修周期指标		时间间隔/d
		运行里程/万 km	时间	
定期检修	大修	120	10	35
	架修	60	5	20
	定修	15	1.25	7
日常维修	三月检	3	3 月	2
	双周检	0.5	0.5 月	0.5
	列检	每日或两日		

表 3 所示的车辆检修周期表是在直流电动车时代形成的。现在已经进入交流车时代,车辆检修的

技术水平大大提高,维修工作量减少。因此,该检修周期表未能与时俱进修改调整,规定的车辆检修周期偏短,车辆检修频繁,造成维修成本高。按表 3 的检修周期和车辆使用寿命 30 a 计算,每辆列车在全寿命期内需做 2 次大修、3 次架修和 18 次定修。北京京港地铁公司为降低车辆修理成本,简化并提高了车辆的检修标准如表 4。

表 4 京港公司车辆检修修程和检修周期表

检修种类	检修周期/万 km	停修时间/d
大修	160	45
架修	40	14
45 日检(B 列检)	1.5	1.0
双周检(A 列检)	0.5	0.5

表 4 中,按规定车辆运行 160 万 km 做大修,运行 40 万 km 做架修。以车辆年运行 12 万 km、全寿命期 30 a 计算,京港地铁公司车辆的大修间隔时间为 13.3 a,如图 3 所示。每辆列车在全寿命期内需做 1 次大修、7 次架修,其余为日常维修。

由此可见,适当延长车辆大架修周期,可减少每年应检修车的数量,减少检修台位和检修设备的数量,以降低车辆维修成本。

现在全国各运营单位仍在按照地铁设计规范规定的标准执行,每年需多支出一大笔车辆修理费。当前迫切需要修改轨道交通车辆的检修标准,以利降低运营成本,减少企业亏损。

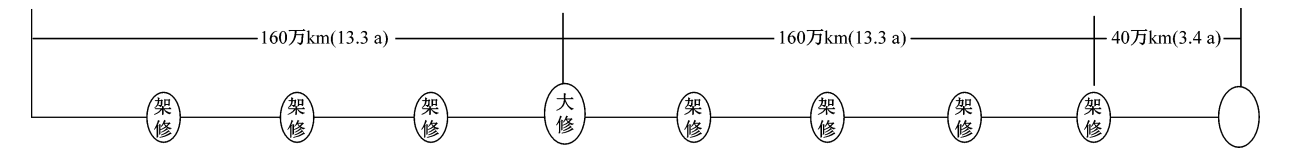


图 3 京港地铁车辆检修周期

2.6 供电方式影响地铁运营成本

城市轨道交通的供电方式有 DC 1 500 V 架空线供电、DC 1 500 V 钢铝复合轨三轨供电两种。通过工程实例比较,架空线和钢铝复合三轨系统变电所的数量相同。与架空线供电相比,钢铝复合接触轨具有重量轻、寿命长、电阻率低、牵引网损耗小、供电距离较长、工程造价低的优点。

架空接触网的缺点是结构复杂、维修不方便、运营成本高,根据相关规范,滑触线的使用寿命为 15 a(进口品为 20 a)。架空线供电系统每隔 15~20 a 需更换一茬滑触导线,企业须一次次地进行再投资。另外,架空线系统须设接触网维修工区。按电气化铁路标准,一个接触网维修工区承担 10 km 正线的维修任务,每个工区的定员为 25 人,并应配备接触网检查车、轨道平台车以及检测仪器等设备。以长 20 km 的轨道交通线路为例,在正线和车辆段需设 3 个维修工区,管理人员近 100 人,每年需支出大笔接触网维修费。

如果采用钢铝复合三轨供电,系统的结构简单,可靠性高,维修工作量少,使用寿命长,不设专职维修人员。北京地铁的第三轨已使用了 50 a。考察人员在英国还看到过已使用 100 多 a 的三轨。

综上所述,采用 DC 1 500 V 钢铝复合三轨供电,有利于降低运营成本。

2.7 车站建筑规模影响系统运营成本

地铁车站位于地下,依靠通风、照明、空调、电扶梯等设备维持工作和生活。地铁车站的运营成本主要是电费、机械设备维修费和人员薪酬,同时也与车站的形式有关。侧式车站有 2 个站台,设 2 套电梯和自动扶梯,其运营成本高。据香港地铁的经验,1 个侧式车站比岛式车站,每年要多花 200 多万元运营费。

另外,车站建筑规模也是影响车站运营成本的因素。地铁设计规范规定,岛式车站最小站台宽度为 8 m,侧式车站站台宽度为 3.5 m。现在一些新建车站为追求大气,站台宽度有的宽达 14~15 m。车站建筑空间越大,通风、空调、照明等用电量越大,车站的运营成本也就越高。

3 结语

我国现有 33 个城市建成了轨道交通,大多处于亏损运营。究其原因,与城市轨道交通建设成本有直接关系。深圳地铁不用高价进口装备,自主创新制造了六大装备系统,平均装备投资仅为 1.23 亿元/km,如采用国外装备的投资高达 2.71 亿元/km。根据国家规定,地铁的装备设备每年应提取折旧费。工程建设成本低,提取的折旧费少,系统运营成本就低。建设成本越高,提取的折旧费越多,系统运营成本就越高。2016 年全国地铁每车公里运营成本为 27.6 元,深圳地铁仅为 17.73 元。

2016 年深圳地铁运营线长 265 km,最高日客流量达到 533 万人次。以起步票价 2 元,靠票款收入就可覆盖直接运营成本。深圳地铁是世界上少有的盈利地铁。建议国家总结深圳地铁建设和运营管理经验,使之成为可复制的样板在全国推广。这样,我国城市轨道交通的运营减亏就大有希望。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [2] 中国城市轨道交通年度报告课题组. 中国城市轨道交通 2016 年度报告[M]. 北京:北京交通大学出版社,2017.
- [3] 韩宝明,代位,张红健. 2018 年世界城市轨道交通运营统计与分析[J]. 都市快轨交通,2019(1):9.
- [4] 简炼. 用户主导创新成就深圳地铁运营装备和运营服务国际领先[J]. 都市快轨交通,2018(1):21.
- [5] 肖翔,肖雪悦,姜钰姜,等. 北京市轨道交通财政补贴模型研究[J]. 都市快轨交通,2018(2):39.
- [6] 侯秀芳,左超,李楠. 城市轨道交通 2016 年统计和分析[J]. 都市快轨交通,2017(3):1.
- [7] 张晓莉,张泓,刘勇. “地铁经营+物业发展”盈利模式的内涵与操作思路[J]. 都市快轨交通,2008(2):1.
- [8] 邱庆珠,梁广深. 城市轨道交通供电制式分析探讨[J]. 城市轨道交通研究,2004(6):10.
- [9] 梁广深,黄隆飞. 地铁 B 型车牵引能耗与再生制动节能初探[J]. 城市轨道交通研究,2016(2):27.

(收稿日期:2019-04-30)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704