第 30 卷 第 3 期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 30 No. 3
2017 年 9 月 Journal of Shijiazhuang Tiedao University(Natural Science Edition) Sep. 2017

城市轨道交通运营成本计算方法研究

杨 洋[1], 陈进杰[2], 郑钰馨[3], 陈 龙[2]

(1. 北京交通大学 交通运输学院,北京 100044;
2. 石家庄铁道大学 交通运输学院,河北 石家庄 050043;
3. 同济大学 机械与能源工程学院,上海 201804)

摘要:为制定一套城市轨道交通运营成本计算方法,参考铁路运营支出编制方法编制了城市轨道交通运营成本支出框架,基于此,建立了城市轨道交通运营成本的模型,并据此对上海轨道交通一号线运营成本进行了计算。所得结果与实际线路运营成本具有 97.7%相符度,证实了该计算方法的有效性,以及编制的运营支出框架的合理性。研究成果为轨道交通运营企业提供了完善合理的运营成本计算及预测方法,为轨道交通企业的发展和政策制定提供了理论依据。

关键词:城市轨道交通;运营成本;运营支出框架;上海轨道交通一号线

中图分类号:U121 文献标志码:A 文章编号:2095-0373(2017)03-0093-06

0 引言

世界范围大城市轨道交通线路,除香港等城市能取得少额盈利外,其他城市皆处于长期亏损,这严重制约了城市轨道交通的发展,因此城市轨道交通运营成本计算和控制便成了轨道交通行业重点研究方向。

作业成本法和要素成本法是城市轨道交通运营成本常用计算方法,20 世纪 Eric Kohler 首次提出作业的概念,通过划分运营线路各作业成本,确定最终运营收支状态[1]。在轨道交通项目可行性报告中,要素成本法应用较多[2]。随后,成本比法以及模糊聚类法[3-4]在城市轨道交通运营成本计算中得到了应用发展。

然而,目前并无一套系统的城市轨道交通运营成本计算方法[5],根据城市轨道交通和铁路的相似性原理,考虑二者的差异性的同时,编制出适用于城市轨道交通的运营支出框架,并以此框架得到运营成本计算方法。

1 城市轨道交通运营成本模型

将城市轨道交通运营支出框架分为两大部分[6],第一部分为与行车量有关的运营支出,第二部分为固定设备维修费。其中,与行车量有关的运营支出包含拖车修理费、动车修理费、拖车和动车的基本折旧费、乘务员工资、耗电费用;固定设备维修费定额包括正线维修费、站线维修费、车站维修费、与运营千米有关的信号及通信设备维修费、电力牵引变电所和接触网维修费等。

1.1 与行车量有关的运营支出

1.1.1 车辆定期修理费

根据北京地铁检修规程[6],对普通钢车车辆,列检每车百千米平均为 8 元,月修每车均值 240 元,定修每车平均值 1.4 万元,架修每车均值 3.8 万元,厂修每辆车平均费用 50 万元[6],并以车辆使用期限为 20 a 为限,得到每辆普通钢车的维修费为 4 162 290 元,每年维修费 208 114.5 元。

收稿日期:2016-11-04 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.2017.03.18
基金项目:河北省自然科学基金(E2016210131)
作者简介:杨洋(1988-),男,博士研究生,研究方向为轨道交通节能减排研究。E-mail:14114222@bjtu.edu.cn
杨洋,陈进杰,郑钰馨,等.城市轨道交通运营成本计算方法研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2017,30(3):93-98.

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关于车体维修的工作量主要集中在厂修阶段,厂修中,车体维修费约占全部厂修费1/3,20 a使用年限厂修费为10^6元,不锈钢车体维修费约为普通钢体车维修费的8.6 %,铝合金车体的维修费占普通钢车体维修费的40.50%[6]。则每辆不锈钢车体厂修车体维修费为28 666元,不锈钢车的维修费为3 857 623元,每年维修费为192 881元,每辆铝合金车体厂修车体维修费为135 000元,不锈钢车的维修费为3 963 957元,每年的维修费用是198 198.5元。

1.1.2 车辆日常维修费

根据北京地铁公司现行的检修规程定额可知[6],每辆车每年列检费用为9 600元。

1.1.3 拖车每日完成工作量

平均拖车每日成工作量如下

(1) 阻力机械功。

$$W_{阻力功} = q \times \omega_{cp} \times l_B \times 10^{-3} \tag{1}$$

式中,q为平均拖车总重;ω_{cp}为拖车运行中的平均单位阻力;l_B为车辆平均日车千米。

地铁车辆的拖车平均单位基本阻力经验公式为

$$\omega_{cpt} = 1.66 + 0.005\ 7 \times v + 0.000\ 155 \times v^2 \tag{2}$$

式中,v为行车速度。

普通钢车的平均拖车总质量为68 t,车辆平均日车千米为300 km,取平均行车速度为40 km/h,则普通钢车阻力功为43.574 t·km,同理计算可得,不锈钢车和铝合金车的阻力功分别为40.217 t·km和39.730 t·km。

(2)车辆小时。

地铁的运营时间一般是5:30—22:30[7],因此一辆车每日完成的车辆小时为17 h。

1.1.4 拖车支出计算

参考文献[6]将与时间消耗有关的维修费占定期修理费的比例定为75 %,与阻力机械功有关的占25%,与阻力功有关的日常维修费为95%,与时间有关的占5 %。则一辆普通钢车、不锈钢车、铝合金车单位支出为表1。

表1 8编组情况下,普通钢拖车支出表

材料	修理费划分	定期修理费/(元·a^{-1})	日常修理费/(元·a^{-1})	全年全部修理费/元	每日阻力功/(t·km)	每日车辆小时/h	单位支出/(元·(t·km)$^{-1}$)	单位支出/(元·h^{-1})
普通钢车	全部费用	416 229	19 200	435 429	—	—	—	—
	与阻力机械功有关	104 057	18 240	122 297	43.574	—	7.688	—
	与时间消耗有关	312 172	960	313 132	—	17	—	50.5
不锈钢车	全部费用	385 762	19 200	404 962	—	—	—	—
	与阻力机械功有关	96 440.5	18 240	114 681	40.217	—	7.812	—
	与时间消耗有关	289 322	960	290 282	—	17	—	46.8
铝合金车	全部费用	396 396	19 200	415 596	—	—	—	—
	与阻力机械功有关	99 099	18 240	117 339	39.73	—	8.092	—
	与时间消耗有关	297 297	960	290 257	—	17	—	48.1

1.1.5 动车在一个厂修周期内完成的工作量

将动车维修费分为4部分指标,分别为:与耗电量有关的修理费、与牵引机械功有关的修理费、与车辆小时有关的修理费、阻力机械功有关的修理费。

(1)牵引机械功与阻力机械功。

$$W_{牵引功} = W_{阻力功} = Q \times L_K \times \omega_{cp} \times 10^{-3} \tag{3}$$

式中,Q为动车负载量;L_K为两次厂修间的走行距离;ω_{cp}为动车运行时平均单位基本阻力。

据经验公式,动车运行时平均单位基本阻力

$$\omega_{cpd} = 2.49 + 0.005\ 3 \times v + 0.000\ 203 \times v^2 \tag{4}$$

式中,v为行车速度。8编组情况下,普通钢车列车总质量为556 t,则每辆动车需要牵引92.67 t的

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

质量,两次厂修间的走行距离 8×105 km,取平均行车速度为 40 km/h,则普通钢车牵引功和阻力功为224 394.8 t·km,同理计算可得,不锈钢车体和铝合金动车牵引机械功和阻力机械功分别为 214 006.9 t·km和 211 214.1 t·km。

(2)耗电量计算。根北京地铁公司多年车辆运营耗电统计有,每车百千米平均耗电量为 400 kW·h,则经计算,一个厂修期内普通钢车、不锈钢车和铝合金车耗电量分别为 3 200 000 kW·h、3 004 602 kW·h 和 2 935 032 kW·h。

(3)车辆小时计算。$l_{机日}$=一个厂修期行驶千米数/(年数×365)=273.97 (km/d);车辆小时=16×8×105/$l_{机日}$=46 720 (h)。

1.1.6　动车支出计算

动车修理费的分摊比例为:与耗电量有关修理费占 15%,与牵引机械功有关的修理费占 40%,与阻力机械功有关的修理费占 40%,与车辆小时有关修理费 5%[6];得出动车单位支出为表 2。

表 2　8 编组情况下,普通钢、不锈钢及铝合金动车单位支出表

指标名称	Ⅰ与耗电量有关 e_1/(元·(kW·h)$^{-1}$)	Ⅱ与牵引机械功有关 e_2/(元·(t·km)$^{-1}$)	Ⅲ与阻力机械功有关 e_3/(元·(t·km)$^{-1}$)	Ⅳ与车辆小时有关 e_6/(元·h^{-1})
普通钢	0.49	18.628	18.624	11.184
不锈钢	0.485	18.166	18.166	10.401
铝合金	0.51	18.89	18.89	10.675

1.1.7　车辆基本折旧费

以 20 a 为限,按 4%的残值后,平均计算得到年折旧费为表 3 所示。

表 3　每辆车的基本折旧费

指标	购置价格/(元·辆$^{-1}$)	使用年限/a	年折旧费/(元·a^{-1})	基本折旧费/(元·车辆 h^{-1})
普通钢车	5 160 000	20	248 000	42.47
不锈钢车	6 120 000	20	297 500	50.94
铝合金车	9 290 000	20	446 500	76.46

1.1.8　乘务员劳务支出费用

每列动车组分别配备 1 名司机与 1 名乘务员,假定司机工资为乘务员 1.5 倍,乘务津贴与附加工资等支出占基本工资 25%,定以乘务员基本工资 3 000 元/月,司机基本工资 4 500 元/月,则以日工作小时 8 h,每年工作 250 d 计算,乘务员的每小时工资为 56.25 元/h。

1.1.9　电能单价

考虑轨道交通属公益事业且同属大工业用电,以多数城市标准,将电能单价 e_5 取为 0.55 元 /(kW·h)。

1.2　固定设备维修费

1.2.1　正线维修费

正线日常维修费 a_1 元/km,线路大中修费为 b_1 元/km,轨道折旧费 c_1 元/km,隧道折旧费 d_1 元/km,路基折旧费 f_1 元/km,故正线维修费 e_{zhe}等于 $a_1+b_1+c_1+d_1+f_1$ 元/km。

1.2.2　站线维修费

站线包括到发线、编组线及其他站线,日常维修费分别为 e_d,e_{bi},e_z 元/km,中修费为 e_{zx}元/km,大修费为 e_{dx}元/km。

1.2.3　车站维持费

车站维持费为 e_c 元/a。

1.2.4　与运营量相关的车站内闭、信、联及通信设备维修费

通信电路与通信设备日常维修费(包括中修费)为每年 a_2 元/运营/cm。区间轨道电路及自动闭塞信号日常维修费为为每年 b_2 元/运营 km。集中调度信号日常维修费为 c_2 元/运营 km。则与运营量相关的车站内闭、信、联及通信设备维修费 e_x 为 $a_2+b_2+c_2$ 元/运营 km。

1.2.5　接触网与电力牵引变电所维修费

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

接触网或第三轨日常维修费为 e_w 元/km。

电力牵引变电所维修费和变电所装机容量与变电所组数有关,每个变电所的日常维修费为 e_b 元/所。

1.2.6 其他固定设备维修费

其他固定设备包括空调、扶梯、售票机、验票机、通信设备、报警设备、屏蔽门、车辆段和停车场等。

1.3 运营支出法计算成本

运营支出包括与行车量有关运营费 E_x 和固定设备维修费两部分 E_g,再加其他固定设备维修费 E_{qg}、营业费 E_{yy}、管理费 E_{gi} 和财务费 e_{cw} 得最终运营成本 E,即 $E=E_x+E_g+E_{qg}+E_{yy}+E_{gi}+E_{cw}$。

(1)与行车量有关的运营支出。

$$E_y = 365N_L[N\times(e_1+e_5)+A_Qe_2+A_Z(e_3+e_4)+(e_6+e_7+e_8)\frac{T}{\beta_L}]\times10^{-4} \tag{5}$$

式中,N_L 每日开行列车对数(对/d);e_1 为与能耗有关动车维修费用支出(元/kW·h);e_2 为与牵引功有关动车维修费用支出(元/kN·km);e_3 为与阻力有关动车维修费用支出(元/kN·km);e_4 为与阻力有关的拖车维修费用支出(元/kN·km);e_5 为电力单价(元/kW·h);e_6 为与时间有关的动车维修费支出(元/h);e_7 为乘务组工资(元/h);e_8 为与时间有关的拖车维修费支出(元/车辆·h);β_L 旅速系数;N,A_Q,A_z,T 为每列车往返能耗(kW·h)、牵引功(kN·km)、阻力功(kN·km)、运行时间(h)。与行车量有关的运营支出中还包括车辆基本折旧费 e_{cz} 和乘务员工资 e_{cw},所以总的与行车量有关的运营支出 $E_x=E_y+e_{cz}+e_{cw}$。

(2)固定设备维修费。

$$E_g = [L_{zhe}(e_{zhe}+e_w)+L_xe_x+N_be_b+L_de_d+L_{bi}e_{bi}+L_ze_z+L_{zx}(e_{zx}+e_{dx})+N_ce_c] \tag{6}$$

式中,L_{zhe} 为正线长度(km);L_x 为运营千米(km);L_d 到发线长度(km);L_{bi} 为编组线长度(km);L_z 为其他站线长度(km);e_{zhe} 为正线维修费支出(元/正线 km);e_w 接触网或第三轨维修费(元/km);e_x 为与运营量有关的车站内信、联、闭及通信设备维修费(元/km);e_b 变电所维修费(元/所);e_d 到发线维修费(元/km);e_{bi} 编组线维修费(元/km);e_z 为其他站线维修费(元/km);e_{zx} 为站线中修维修费(元/km);e_{dx} 为站线大修维修费(元/km);e_c 为车站维持费(元/站);N_b 为变电所个数(个);N_c 为车站个数(个)。

2 算例

2.1 上海轨道交通一号线运营成本计算

通过列车牵引计算系统计算系统[8],如图1,输入线路和车辆数据,得8编组满、超载开行能耗表4。

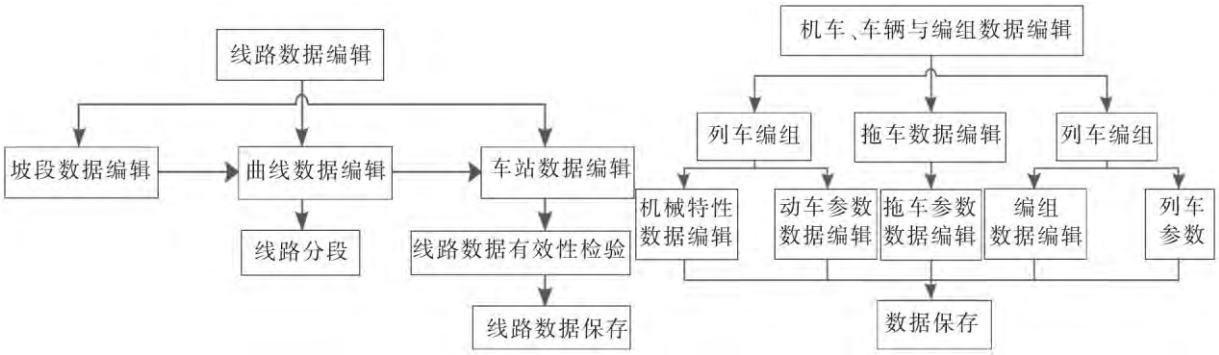

图1 线路模块和车辆数据编辑流程

将实际数值带入式(5)、式(6)计算,并且上海轨道交通一号线的车辆配备数为20列,则车辆基本折旧费 e_{cz} 为 50×8×20=8 000(万元/a),乘务员工资 e_{cw} 为225万/a,其他固定设备折旧费为671.62(万元/a),对比上海轨道交通一号线的运营公司—申通地铁股份有限公司2002—2012的年度财务报表数据,可得此10 a间营业费、管理费和财务费3项支出平均值为38 341 142.35元/a。最终计算得到总运营成本为表5所示。

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　列车开行能耗

状态	双向开行能耗/(kW·h)	运行时间/s	牵引功/(kW·h)	牵引功/(kN·km)
8 满载	252.86	4 950.97	183.173	659.421
8 超载	268.63	5 098.70	199.831	719.390

表 5　总运营成本

状态	与运营量有关的成本 E_y/万元	与运营量有关的成本 E_x/万元	固定设备维修费 E_g/万元	总运营成本/万元
8 满载	39 111.01	47 336.01	14 009.54	65 851.17
8 超载	42 206.74	50 431.74	14 009.54	68 947.00

2.2　结果与分析

如图 2,通过分析可看出,2006—2012 年运营成本变化比较平缓,但是 2007—2011 年成本略微偏高,这是由于 2007—2008 年,上海交通一号线进行了“6 改 8”项目,车辆购买导致运营成本增,2009—2010 年由于世博会影响而产生的高额运营成本,但 2006—2012 年的平均运营成本为 673 941 627.7元,与使用运营成本法计算出来 8 编组满载 65 851.17 万元和 8 编组超载 68 947.00 万元的相符度为 97.7%,相符程度极高。该实例证明了本文模型具有很好的适用性和准确性,进一步说明了所编制城市轨道交通运营成本框架的合理性,在对于线路车辆、实际价格等参数确定后,应用该方法所得城市轨道交通运营成本具有很好的参考价值。

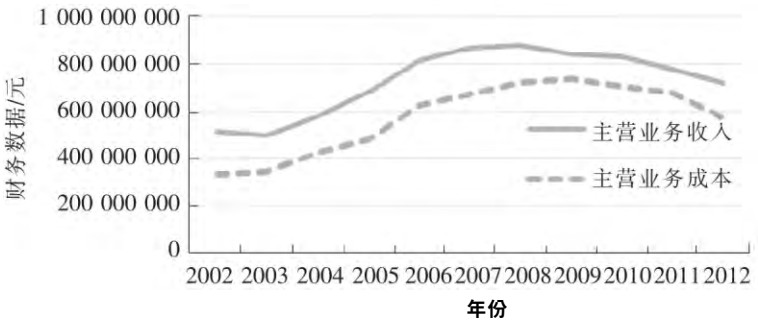

图 2　主营业务收入、成本变化曲线图

3　结论

通过编制适用于城市轨道交通的运营成本支出框架,提出了城市轨道交通运营成本的计算方法—运营支出法,并将此法计算结果与上海申通地铁股份有限公司的 10 a 财务报表数据进行了对比分析,结果表明,运营支出法具有较高的可靠性,为合理有效的计算方法。该方法将对未建线路未来运营成本预测有一定的指导意义,可以更好地为投资状况和线路设计等提供参考,为政府补助和政策制定提供依据。在运营期使用此方法可对未来运营成本进行预测并帮助企业实现定额管理,为企业更好发展提供服务。

参　考　文　献

[1]邱薇华,李健. 城市轨道交通企业管理[M]. 北京:中国铁道出版社,2011.

[2]TAKAO O, NORIHISA T. Rail transport in the world's major cities[J]. Japan Railway & Transport Review, 2000, 25(10): 4-17.

[3]黄卫,张宁. 基于收入成本比的城市轨道交通运营理念[J]. 城市轨道交通研究,2009,1(2):6-10.

[4]陈进杰,王兴举. 城市轨道交通运营成本模糊聚类估算模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,11(2):136-141.

[5]骆晨,刘澜,牛龙飞. 城市轨道交通超大客流网络拥挤传播研究[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,27(2):83-86.

[6]杨洋. 城市轨道交通运营成本计算与研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.

[7]陈慧,汪波. 城市轨道交通基于网络瓶颈的运力资源分配研究[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,27(4):64-67.

[8]程隆华,方海清. 上海地铁 1 号线车辆牵引(制动)数字仿真计算[J]. 上海铁道学院学报,1994,15(3):39-46.

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Research on Urban Rail Transit Operation Cost Calculation Method

Yang Yang[1], **Chen Jinjie**[2], **Zheng Yuxin**[3], **Chen Long**[2]

(1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing100044, China;
2. School of Transportation, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;
3. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To develop a set of calculation method of urban rail transit operation costs, the operation expenditure framework is made referring to railway operation expenditure quota formulation. On this basis, the model of urban rail transit operation costs is established and used to calculate operation costs of Shanghai rail transit line1. The result is consistent with the actual operating costs by 97.7%, which has confirmed the effectiveness of the calculation method and the rationality of the expenditure framework. The research result provides the reasonable calculation and prediction methods of operation costs for the rail transit enterprises, and a theoretical basis for the development of enterprises and policy making.

Key words: urban rail transit; operating cost; operating expenditure framework; shanghai rail transit line 1

(上接第24页)

The Demolition Procedure and Scheme Optimization of the Buildings on Old Arch Bridge

Geng Fuzhi

(The First Company of the China Railways 16th Bureau Group Co., LTd., Beijing 101300, China)

Abstract: The demolition process of a constant section catenary arch bridge using a 200 t truck crane is optimized, focusing on the demolition technology of the bridge deck, beams, columns, beam cap and base pad stone. The different demolition conditions for the removal process is numerically simulated with MIDAS-civil finite element software. The actual measured results show that the demolition procedure with a large hoisting equipment has many advantages such as safe, fast and economic; And the result can be referred by the future similar projects.

Key words: 200 t truck crane; old arch bridge; buildings on the arch

(上接第92页)

Study on Flue Gas Heating

Wang Qingmin, **Tian Yuzhuo**

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: For the flue gas heating, to improve the flue form, Fluent software is used to simulate the non steady state of different sizes of the front baffle and different height of the flue. The results showed that the front baffle ratio of 4:2:1 and the flue height of 0.3 m is the most excellent design, with homogeneous floor surface temperature and good thermal comfort, which can be used as reference for the design of gas floor heating in new rural construction.

Key words: flue gas heating; fluent simulation; front baffle size; flue height

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net