

文章编号: 1009-6744 (2012) 02-0009-06

# 城市轨道交通成本构成分析

李文兴\*, 尹 帅

(北京交通大学 中国交通运输价格研究中心, 北京 100044)

**摘要:** 现今,城市轨道交通以其安全舒适、快捷高效、节能环保等优点,成为解决城市交通拥挤问题最有效的途径之一。但是轨道交通项目成本造价高,运营维护费用贵,以及运行带来的诸如噪声污染与电磁干扰等社会问题,成为制约轨道交通健康发展的“瓶颈”。本文以北京市地铁4号线为例,系统地分析研究了城市轨道交通的内部成本和外部成本。依据价值链理论,把内部成本细化为前期规划设计成本、建设成本和运营成本;把外部成本分为空气污染、交通事故和噪声污染三个方面,并且将外部成本定量化。该研究有助于准确计算出城市轨道交通的总成本,为政府制定票价提供依据;同时使城市轨道交通满足经济资源、社会资源和环境资源的可持续发展。

**关键词:** 城市交通; 外部成本; 价值链; 城市轨道交通; 内部成本; 外部性

**中图分类号:** F570.5

**文献标识码:** A

## Analysis on Cost of Urban Rail Transit

LI Wen-xing, YIN Shuai

(Center for China Transportation Tariff Research, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Nowadays, urban rail transit has been the most effective solution to traffic congestion because of its fast, efficient, safe, energy saving and environmental protecting characteristics. However, the high cost of rail projects and the operation maintenance, together with the social problems brought by the urban rail transit such as noise pollution, traffic accidents and air pollution have become the “bottleneck” of its healthy development. This paper systematically analyzes the internal and the external costs of Beijing Subway Line 4 as an example. Based on the value chain theory, the internal cost is divided into preliminary planning and designing cost, constructing cost and operating cost. On the other hand, the external cost is classified into the cost of air pollution, traffic accident and noise pollution. The external cost is quantified, incorporated into the total cost of rail transportation as well. This research provides the basis for the government to formulate the fare by accurate calculation of the total cost of urban rail transit. Moreover, this research promotes the sustainable development of economic resources, social resources and environmental resources.

**Key words:** urban traffic; external cost; value chain; urban rail transit; internal cost; externality

**CLC number:** F570.5

**Document code:** A

收稿日期: 2011-11-02

修回日期: 2011-12-26

录用日期: 2012-01-04

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20070004025)。

作者简介: 李文兴(1958-),男,山西临汾人,教授。

\* 通讯作者: wxli@bjtu.edu.cn

## 1 引言

目前国际轨道交通有地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车以及悬浮列车等多种类型,号称“城市交通的主动脉”。如今仍存在一些问题,如何降低城市轨道交通的建设和运营等内部成本,同时最大限度地减少轨道交通运行带来的噪声污染、环境污染和交通事故损失等外部成本,对于城市轨道交通的持续发展具有重要意义。

本文将外部成本作为轨道交通总成本中不可忽视的一部分,对轨道交通的内部成本和外部成本进行系统、有效地分析和研究,以此来达到降低成本、提高效益的目的。一方面推动城市轨道交通成本理论的发展,有助于准确计算出城市轨道交通的总成本,为政府制定票价提供依据;同时使城市轨道交通既能保证其为经济发展提供服务,又能满足一定的环保要求,从而促使经济资源、社会资源和环境资源的可持续发展。

## 2 理论基础

### 2.1 作业链及价值链

现代企业实质上是为满足顾客需要而设计的作业集合体,因为从产品设计到产品销售过程的整个生产经营过程,都是由一系列前后有序的作业构成,这些作业由此及彼、由内到外相连接,就形成了一条“作业链”。价值沿作业链在各作业之间转移,就构成了一条“价值链”。卡普兰教授等学者认为,立足于产品销售到顾客的环节来看,能够产生和增加顾客价值的作业是需要大力加强的有效作业,不增加价值的作业是维持作业或无效作业。价值链需要不断地优化组合,努力减少各环节的无效作业,使之逼近于零;在各环节有效作业中,提高其产出比例。本文关于城市轨道交通内部成本的划分是基于价值链原理。

### 2.2 外部性及内部化

在西方经济学中,外部性是指一个生产者或消费者的生产或消费活动对其他生产者或消费者所附带产生的成本或效益的情况。外部性是一种经济主体的经济活动对于另一种经济主体的经济活动的非市场性的影响,它不以市场为媒介,也无法通过市场的价格机制反映出来,难以通过市场机制加以解决。

在市场经济条件下,外部性的存在不利于社会资源的有效配置。因此,需要将外部和内部的相关

机制介入经济领域,使外部性内部化,从而使私人成本与社会成本相同。由此,外部性的内部化过程就是外部性矫正的过程。

### 2.3 内部成本构成

按照价值链理论,本文把城市轨道交通的内部成本分为三部分:一是前期规划设计成本;二是建设成本;三是运营成本。

#### (1) 前期规划设计成本。

前期规划设计成本包括前期策划费用、项目建议书阶段费用、可行性研究费用及勘察设计费用。在前期规划阶段,决策者要确定许多决定项目投资和运营成本的主要内容。因此,前期规划阶段对项目投资和运营成本控制至关重要。

#### (2) 建设成本。

城市轨道交通建设期长,工程庞大,建设期涉及的成本不胜枚举,所以本文将采用分类管理 ABC 方法对不同项目的成本进行分类。建设阶段 A 类成本项目包括工程建设、区间、车辆购置费、车站等相关项目,这些项目的成本占总投资额的比例较高,且相对可控。B 类成本项目包括供电系统、车辆基地、轨道工程、基本预备费等,这些项目的成本在总成本中占一定比重,且大部分项目具有一定可控性。C 类成本项目主要包括施工准备、给排水、房建工程、绿化等,这些项目费用金额比较低,对总成本影响比较小<sup>[1]</sup>。

#### (3) 运营成本。

城市轨道交通运营成本,是指轨道交通系统为完成乘客运输所消耗的以货币形式表现的一切费用支出,包括支付的职工工资及福利费、材料、电力、折旧费、资本成本及其他费用。城市轨道交通运营成本由营业成本、管理费用、财务费用和营业外支出构成<sup>[2]</sup>。

### 2.4 外部成本构成

交通运输的发展带来了交通事故、噪声、空气污染等因素产生的成本费用。这些成本不仅指那些通过市场价格而体现的财务成本,而且还包括那些非市场成本,如死亡、疾病、对自然和生态环境的破坏等<sup>[3]</sup>。但是,在绝大多数情况下,交通工具的使用者并没有承担这些非市场成本的义务,而且目前这些影响也尚未形成市场化机制。因此,它们被看作是外部成本。按照外部成本的不同来源进行分类,如图 1 所示。

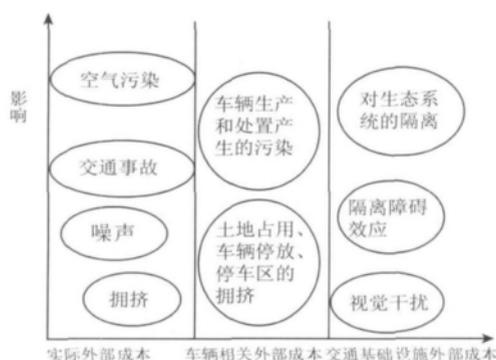


图1 轨道交通外部成本相关构成

Fig.1 Influence factors to the external cost of urban rail transit

可以看出,构成城市轨道交通外部成本的内容有很多.在本文中,仅详细分析空气污染、噪声污染和交通事故引起的外部成本.

### 3 城市轨道交通成本构成分析

本文以北京市地铁4号线为例,分析城市轨道交通的成本构成.北京地铁4号线于2009年9月正式通车,该线路全长28千米,共设24座车站,连接北京南站、西单、动物园、中关村等重要交通枢纽或商业区,是北京南北交通的主动脉之一.与其它线路不同,该线路由京港地铁公司负责运营,是大陆地区首个公私合营的轨道交通线路.

#### 3.1 轨道交通内部成本分析

##### (1) 前期规划设计成本构成分析.

以北京地铁4号线为例,规划时周边与其相关的工程有马西路工程、菜市口大街扩建、颐阳路工程等.这些项目业主不同,设计单位也不同,而且都是根据本身的需要确定工期和进行设计,沿线还有众多小区、广场、大型建筑、公交枢纽等.如果不把这些工程协调好,将造成很多重复工程、废弃工程.因此,做好前期规划设计对于降低城市轨道交通总成本至关重要.通过相关资料整理得,北京地铁4号线在30年的租赁期内,前期规划设计成本测算为3亿元.

##### (2) 建设成本分析.

京投公司根据北京地铁4号线初步设计概算154亿元的投资,按投资建设责任主体,将全部建设内容划分为A、B两部分,分别由政府和社会投资按7:3的投资比例承担.A部分主要为土建工程的投资和建设,B部分包括车辆、信号、自动售检票系统等机电设备的投资和建设.A部分由政府出

资的投资公司(公司下属的4号线公司)来完成,资金来源为资本金60.51亿元(市区两级财力投入).其中,北京市机动财力36.76亿元,北京地铁集团公司(即市基础设施投资有限公司)出资2.97亿元,西城区政府出资5.94亿元,海淀区政府出资11.87亿元,宣武区政府出资1.78亿元,丰台区政府出资1.19亿元,其余为贷款.B部分由“港铁-首创联合体”组建的京港地铁公司来完成,资金来源为资本金13.94亿元,其余为贷款.

4号线建成后,京港地铁公司负责地铁4号线的运营管理、全部设施(包括A和B两部分)的维护和除洞体外的资产更新,以及站内的商业经营,通过地铁票款收入及站内商业经营收入回收投资.在京港地铁30年的特许经营期,京港地铁还将追加投资32亿元,用于设备的更新和维护.同时,由于4号线存在政府投资部分,通车后京港地铁需要通过租赁的方式取得使用权,而30年的租金将达15亿元.据此推算,地铁4号线在30年内实际吸引社会投资近100亿元.

通过《城市轨道交通全寿命周期成本分析》<sup>[4]</sup>和《城市轨道交通建设成本构成分析》<sup>[5]</sup>中的研究成果,分析计算出北京市地铁4号线的建设成本以及各个项目的具体金额.结果如表1所示.

表1 北京市4号线建设成本构成

Table 1 Constructing cost of Beijing Subway Four Line

项目	每公里成本 (万元/km)	占建设成本 的比重(%)
前期准备	3 061.384 697	5.70
征地拆迁	4 608.189 597	8.58
土建	19 463.961 65	36.24
车辆	5 338.625 244	9.94
车辆段及停车场	2 422.253 506	4.51
机电设备	10 639.654 54	19.81
建设期贷款利息	2 529.670 513	4.71
其他费用	5 644.763 714	10.51
合计	53 708.503 46	100.00

从表1的数据中我们可以看出,地铁4号线的建设成本项目中,土建工程和机电设备的成本最高,其中土建工程的每公里成本达到19 463万元,占建设成本的比重为36.24%;机电设备的每公里成本为10 639万元,占建设成本的19.81%;其他项目的建设成本相对较低.

根据分类管理ABC方法,建设成本A类占建设成本总额的56.05%;建设成本B类占建设成本

总额的 29.03%; 建设成本 C 类占建设成本总额的 14.92%。其中, 土建和机电设备占有大的比重。土建工程中车站和区间的建设成本是控制造价的重点。而供电系统、信号系统和通风及空调室控制是机电建设成本控制的中心。

### (3) 运营成本分析.

由于 4 号线在 2009 年年底才开通运营, 其全部运营成本资料尚取得不完全。本文是参考 MVA 的客流预测报告、汉堡公司的运营成本测算报告、京投公司报告及北京既有地铁的运营成本等相关资料, 对 4 号线运营期间的运营成本进行测算。如表 2 所示。

表 2 4 号线运营成本测算结果表(单位: 万元)  
Table 2 Operating cost of Beijing Subway Four Line

项目	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
工资及法定费用	7 134	8 270	9 587	11 114	12 885
修理费	3 967	3 967	3 967	3 967	4 551
电力费	5 607	5 607	5 607	5 607	6 138
营运费	2 292	2 292	2 292	2 292	2 769
折旧费	24 705	24 347	23 628	24 392	31 892
租金	4 250	4 250	4 250	4 250	4 250
经营成本	47 955	48 733	49 331	51 622	62 485
管理费用	1 081	1 081	1 081	1 081	1 177
财务费用	14 141	9 982	5 822	1 663	0
总成本	63 177	59 796	56 234	54 366	63 662
营业税金及附加	2 015	1 875	1 724	1 619	1 852
总支出	65 192	61 671	57 958	55 985	65 514

说明: 来源于北京交通大学经济管理学院课题组《地铁 4 号线 PPP 模式下的票价研究报告》。北京市人均工资环比增长率为 3.5%。

对 4 号线客流量的预计, 在 2014 年达到 25 051 万人次, 在 2028 年将突破 30 000 万人次, 达到 30 031 万人次。总之, 4 号线的客流量将逐年增加。

根据以上资料, 可以得出, 4 号线运营成本总额将随着客运量的增加逐年增大。具体说来, 固定资产年折旧费用和财务费用所占比例最大, 对运营成本的影响也最大。4 号线的 PPP 模式, 使得在运营初期, 运营成本要高于运营收入, PPP 公司要面临亏损; 运营一段时间后, 运营收入将超过运营成本, 从而 PPP 公司可以获利。

## 3.2 轨道交通外部成本分析

### (1) 噪声污染.

本文根据北京市统计局公布的相关资料, 整理汇总了北京市 2004 年至 2008 年之间, 城八区交通干线和非交通干线附近的噪声平均值。结果显示, 城八区交通干线的噪声平均值明显高于非交通干线噪声平均值。如表 3 所示。

同时, 根据前人<sup>[6]</sup>的研究结果, 可以得出, 公共汽车、小汽车和轨道交通相比, 轨道交通产生的噪声成本是最小的。如表 4 所示。

表 3 北京市噪声污染(分贝)

Table 3 Noise pollution in Beijing

项目	2008年	2007年	2006年	2005年	2004年
城八区交通干线噪声平均值	69.6	69.9	69.7	69.5	69.6
城八区区域噪声平均值	53.6	54	53.6	54	53.9
差额	16	15.9	16.1	15.5	15.7

表 4 运输单元噪声成本

Table 4 Noise cost of transportation

Planco(1992) 德国(欧元/100人·公里)			
	轨道交通	公共汽车	小汽车
噪声成本	0.2	0.5	0.3
Dickman(1990)(欧元/100人·公里)			
	轨道交通	公共汽车	小汽车
噪声成本	0.12	0.2	0.15

### (2) 交通事故.

由于城市轨道交通自身的特点, 其安全性已经受到公众的密切关注。近年来全球地铁事故不断发生, 我国北京、上海、广州等城市地铁先后发生不少事故。不同交通方式的事故成本如表 5 所示。

表 5 不同交通方式的事故成本

Table 5 Accident cost for different modes of transportation

研究者	年份	国家	乘客( 欧元/人·公里)		
			小汽车	公共汽车	轨道交通
Hansson	1987 年	瑞典 - 城区	0.04	0.01	0.001
		瑞典 - 非城区	0.07	0.001	0.001
Planco	1990 年	德国	0.016	0.002 9	0.002 5
EcoPlan	1991 年	瑞士	0.023 8	0.005 8	0.003 2

根据以上三位学者的研究成果,我们可以明显地看出,轨道交通的事故成本比小汽车、公共汽车事故成本要低的多。

(3) 空气污染.

空气污染成本的评估主要采用了间接的方式,包括对所造成损害的技术评估,然后是对“恢复或保护成本”的评估. 如表 6 所示.

表 6 单位运输造成的空气污染成本

Table 6 The unit transportation cost caused by air pollution

研究学者	国家	年份	轿车	公共汽车	轨道交通
			( 欧元/人·公里)	( 欧元/人·公里)	( 欧元/人·公里)
Grupp	瑞典	1986	0.15 ~ 0.68	0.05 ~ 0.21	0.04 ~ 0.15
Marbuger	德国	1985	0.07 ~ 0.19	0.02 ~ 0.04	0 ~ 0.01
Planco	德国	1986	0.11 ~ 0.27	0.02 ~ 0.05	0.01
Hezn	德国	1984	0.06 ~ 0.31	0.01 ~ 0.06	0 ~ 0.01

表 6 数据表明,发展城市轨道交通能减少空气污染、节约能源消耗,有利于促进社会、经济与环境的协调发展. 目前在我国的城市中,由交通运输排放的有害气体占空气污染的一半以上. 城区 74% 的碳氢化合物,63% 的一氧化碳,37% 的氮氧化合物,皆来自车辆尾气. 公共汽车每乘客公里二氧化碳排放量是小汽车的 1/3,而地铁的二氧化碳排放量接近小汽车的 1/20; 公共汽车每乘客公里的一氧化碳排放量仅占汽油小汽车的 1/25; 公共汽车每乘客公里的微粒排放量仅占柴油小汽车的 1/4. 在机动化的出行方式中,轨道交通和公共汽车的能源消耗是最少的. 可见发展城市轨道交通有利于环境保护和建设人居环境.

(4) 以地铁 4 号线为例计算轨道交通外部成本.

在对发达国家各种交通方式外部成本统计资料进行整理和分析的基础上,参照国际上有关规定及我国各种运输方式的污染排放水平,整理汇总了我国各种交通运输方式的单位外部成本. 本文以预算的客运周转量为基础,计算了 4 号线以后运行期间的相关外部成本. 如表 7 所示.

旅客周转量是指在一定时期内,由各种运输工具运送的旅客数量与其相应的运输距离乘积之总和.

旅客周转量( 人公里) =  $\sum$  [旅客运输量( 人) × 运输距离( 公里) ] 或 = 实际运送的旅客人数 × 旅客平均行程

表 7 地铁 4 号线外部成本预测结果

Table 7 External cost of Beijing Subway Four Line

项目	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年	2039 年
平均运程( 公里)	6.34	6.54	6.62	6.39	6.22	6.15
客流量( 万人次)	24 078	26 588	27 436	29 810	31 462	32 201
旅客周转量( 万人公里)	136 040.7	149 690.4	154 464.7	167 234.1	178 074.9	182 901.7
事故损失( 万元)	137.4	151.1	156.0	168.9	179.8	184.7
噪声污染( 万元)	265.2	291.8	301.2	326.1	347.2	356.6
空气污染( 万元)	3 700	4 071	4 201	4 548	4 843	4 974
外部成本( 万元)	4 102	4 514	4 658	5 043	5 370	5 516

从表 7 的数据可以得出,随着 4 号线客运量的逐年增加,其所造成的外部成本也将逐年增加,尤

其是空气污染成本由2015年的3700万元增长到2039年的4974万元。但是,与其他交通运输方式相比,其外部成本较小,年平均增长率仅为1.24%。总之,发展城市轨道交通有利于环境保护和建设人居环境。

#### 4 研究结论

(1) 城市轨道交通的成本构成包括两部分:内部成本和外部成本。北京地铁4号线在30年的租赁期内,前期规划设计成本为3亿元,建设成本154亿元,经营成本185.8亿元,外部成本13.7亿元,总成本为356.5亿元;前期规划设计成本占总成本的0.84%,建设成本为43.2%,经营成本为52%,外部成本为3.84%。

(2) 根据价值链理论得出,轨道交通运营成本高昂。固定资产折旧、筹资方式和资本成本及运营工作量直接影响着城市轨道交通的运营成本。

(3) 本文定量化地分析了城市轨道交通的外部成本。可以看出,城市轨道交通的外部成本相对于内部成本而言,是局部的,影响范围和程度较小。

(4) 交通运输外部成本内部化即通过让运输设施的使用者承担自己造成的全部社会成本,使经济与环境资源的总的利用更有效率。税收和收费是目前各国运用最普遍的经济手段,包括排污收费、产品收费、车辆里程税、汽油和柴油税、道路拥挤税等。同时,本文对外部成本定量化的分

析,为政府在制定票价时加入外部成本,提供了一定借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 陈旻瑜. 地铁运营成本特性分析[J]. 现代城市轨道交通,2006,4(4): 91-93. [CHEN M Y. Analysis on subway operation cost [J]. Modern Urban Rail Transit, 2006,4(4): 91-93.]
- [2] 于福利. 浅谈城市轨道交通运营成本控制[J]. 现代城市轨道交通,2009,2(2): 53-54. [YU F L. Discussion on the control of urban rail transit operation cost [J]. Modern Urban Rail Transit, 2009,2(2): 53-54.]
- [3] Emile Quinter. Internalizing the social costs of transport [M]. Paris OECD,1994.
- [4] 陈进杰. 城市轨道交通全寿命周期成本分析[J]. 交通运输工程学报,2010,1(1): 72-75. [CHEN J J. Analysis on life-cycle cost of urban rail transit [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2010,1(1): 72-75.]
- [5] 陈峰,王子甲. 城市轨道交通建设成本构成分析[J]. 铁道运输与经济,2008,9(9): 53-55. [CHEN F,WANG Z J. Analysis on construction cost of urban rail transit [J]. Railway Transport and Economy,2008,9(9): 53-55.]
- [6] 常山. 可持续运输的发展研究[D]. 北京:铁道部科学研究院,2000. [CHANG S. Research on development of sustainable transport [D]. Science Research Academy of Ministry of Railways,2000.]