

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2012.06.008

我国城市轨道交通 车辆选配实践及建议

吴林科 刘卡丁

(深圳市地铁集团有限公司 广东深圳 518026)

摘要 分析国内轨道交通车辆选配的现状,指出车辆选配主要集中在常规制式车型上,虽与城市轨道交通发展的客观条件和基本需求相适应,但也存在基于预测客流选配车辆的盲目性、相互攀比性以及忽视车辆综合拥有成本、保持适度规模与适度组合等问题。因此,提出城市轨道交通车辆按线网层级划分的选配理论及优先发展策略,为今后的城市轨道交通车辆选配提供清晰的思路及合理的工作路径。

关键词 城市轨道交通;车辆选配;综合拥有成本;层级划分;适度规模;空载率

中图分类号 U270 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2012)06-0027-06

轨道交通以运量大、环保、安全、准时、快捷等优势,成为解决当今城市交通难题的首选方式。截至目前,我国已有31个城市的轨道交通规划通过审批,“十二五”期间,城市轨道交通投资将超过1万亿元。巨额的资金投入带来行业发展的低风险,怎样避免粗放式的“大跃进”,是摆在我们面前的重要课题。

一个良好的城市轨道交通系统不仅能够提高城市的运作效率、引导城市空间结构优化、缩小城乡差距,还能够优化资源配置、改善城市环境、降低综合拥有成本、支持城市可持续发展。

下面从车辆选配的角度,谈如何建设良好的城市轨道交通系统。

1 车辆选配的现状

城市轨道交通车辆系统贯穿于城市轨道交通系统

全寿命周期的始终,制约着轨道交通项目的规模、投入与效益。从目前运营的状况来看,有持续亏损、故障频发、服务水平等问题,困扰着城市轨道交通的顺利发展。这些暴露出来的问题,或多或少与车辆选配有关。特别是近期个别城市地铁故障,矛头更是直指车辆过于拥挤。“客流高峰时拥挤是车选小了”,基于这种判断,本来适配B型车的被要求改配A型车,本来适配6辆编组的被改配7辆、8辆,甚至12辆编组。而实际上,无论选择哪种车型都有承载能力极限的问题,不可能100%满足局部站段客流峰值的需要,也不可能保持全网全天候理论上的舒适度。

国内正在运营的轨道交通线路,其车辆制式主要有常规的地铁轻轨(A、B、C型车)、单轨、自动导向轨、磁悬浮、直线电机、有轨电车等系统(见表1),其中常规的地铁轻轨(A、B、C型车)系统通车里程数占据总通车里程数的90%以上,特别是常规轮轨B型车在我国应用时间最早、涵盖城市范围最广、线路数最多、运营里程最长。

不可否认,多数城市对轨道交通车辆选配这个重大决策都非常重视,在线网规划之初都会做专项研究,车辆选配的最终决策也是基本科学和相适应的。但国内车辆制式与型式的基础研究仍比较薄弱,没有形成一套科学的方法,一些城市在进行城市轨道交通系统的选择和决策时无章可循,导致在决策过程中主观意识浓厚、互相攀比思想严重。

同时,一些可研只是论证事先主观定下的方案,而不是对各种替代技术方案(如地铁、轻轨、快速公交)和替代路线作出严格细致的分析比较。有些规划的轨道网络过于庞大,与现实交通走廊的交通需求量和投资能力严重脱节;有些线路的选择是从容易建设的角度考虑,哪里容易就在哪里建,而不是着眼于需求量最大的线路。

收稿日期:2012-01-13 修回日期:2012-02-27

作者简介:吴林科,男,硕士,系统分析师,从事轨道交通系统设备及其信息化研究,wulinke@163.com

刘卡丁,男,教授级高工,首席规划师,博士生导师

因此,迫切需要根据国内城市轨道交通车辆发展的现状,在各种观念交织的背景中寻出规律、找出方法,以指导新时期的轨道交通车辆选配工作。

表 1 国内已运营部分线路轨道交通制式及车型*

车辆制式及车型	城市	线路数(具体线路)	通车里程/km
常规轮轨 A 型车	上海	8(1~4、7、9~11 号线)	316
	深圳	4(1、2、4、5 号线)	136
	广州	3(1、2、8 号线)	56
	南京	3(1、2 号线)	85
常规轮轨 B 型车	北京	13(1、2、4、5、8、10、13、15 号线,八通、亦庄、大兴、房山、昌平线)	308.7
	天津	2(1、9 号线)	71.6
	大连	1(3 号线)	48.2
	深圳	1(3 号线)	42
	广州	2(3 号线、广佛线)	41.2
	成都	1(1 号线)	31.6
	武汉	1(1 号线)	28.9
	沈阳	1(1 号线)	27.9
常规轮轨 C 型车	上海	3(5、6、8 号线)	94
	长春	2(3、4 号线)	52.1
有轨电车	大连	1	49
直线电机 B 型车	广州	2(4、5 号线)	78
直线电机 C 型车	北京	1(机场线)	27.3
单轨	重庆	2(2、3 号线)	40.4
磁悬浮	上海	1	30
自动导向系统/APM	广州	1(珠江新城捷运系统)	3.94
	北京	1(首都机场 T3 候机楼内)	2

* 根据百度百科 2011 年 11 月资料整理。

2 可选车型及影响车辆选配的主要因素

要做好车辆选配工作,首先要了解有哪些制式车型可选,熟悉可选车辆类别。由于轨道交通车辆特征丰富、分类指标众多,如轨道交通的运输能力、线路专用程度、系统技术、运营方式、牵引方式、支承与导向方式等,都可以作为分类标准,各种分类方法、分类学派也非常多。其次,要分析影响车辆选配的因素,分清楚哪些是主要因素,哪些是次要因素,并权衡它们之间的影响及利弊得失。

2.1 车辆种类及常规车型部分技术参数

根据原国家建设部 2007 年颁布实施的 CJJ/T 114—2007《城市公共交通分类标准》,从车辆的制式与型式、运能等方面将城市轨道交通分为地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统(见图 1)、自动导

向轨道系统(见图 2)、市域快速轨道系统等七大系统。



图 1 上海磁悬浮列车



图 2 广州 APM 系统

常规地铁轻轨系统主要包括 A、B、C 三种车型,技术参数分为体积、速度、轴重、运能、曲线及线路坡度等多个方面,这里只列出影响该三种车辆选型且存在差异化的指标(见表 2)。如车厢尺寸影响限界、运能,轴重影响能耗,转向架中心距影响轮对、轨道的偏磨耗及行车的安全性,曲线半径影响工程施工及建设成本等。

从表 2 中可以看到,A 型车 6 辆编组以单向每小时 4.5 万~7 万人次为运能最大,C 型车以建设投入少与运营损耗低、安全性能高等方面为优势,B 型车则兼顾两者之间。

表 2 常规车型的部分技术指标

指标项	A 型车	B 型车	C 型车
轴重/t	≤16	≤14	≤11
车厢尺寸/m	22(23.6)×3.0	19(19)×2.8	
转向架中心距/m	15.7	12.6	11.0
定员(无司机室车厢)/人	310	250	
列车最大长度/m	185	140	100
单向运能/(万人次/h)	4.5~7	2.5~5	1.5~3
最小曲线半径/m	350/300	300/250	100/50
最大坡度/‰	30/35	30/35	60
竖曲线半径/m	5 000/3 000	5 000/2 500	1 000

注:最小曲线半径、最大坡度、竖曲线半径包括一般地段/困难地段。

2.2 影响车辆选配的主要因素

一般车辆选配的基本原则可以概括为“安全可靠、技术成熟、快捷舒适、经济适用”，这也是人们通常所说的安全性、适应性、社会性、经济性和舒适性。其中舒适性是扩展需求，应该根据城市的自身经济条件与可持续发展要求适当兼顾；其他“四性”是基本需求，也是影响车辆选配的主要因素。下面将重点分析 A、B、C 型车满足基本需求的情况。

2.2.1 安全性

安全性不仅包括运行平稳、性能可靠，而且还包括弯道通过能力、爬坡能力、牵引制动能力，还包括供电、信号、通信等关键技术的成熟度，以及国内是否有成功的应用模式与市场，是否存在完整的产业链，是否在突发事件情况下具备二次救援的能力等。

2.2.2 适应性

车辆选配需要适应客流、线路特征、线网协调性、工程实施等。首先，车辆选配需要适应客流，即所选配的车辆客运能力需要满足高峰小时的运量要求，还需提高客流预测的准确性，进行客流稳定性分析。其次，所选配的车辆需有适应困难地段的能力，适应线路的平缓与急转、坡度大小变化等情况。一般来说，车辆转向架中心轴距与线路曲线吻合度越好，所选配的车辆线路适应性就越好。此外，车辆选配还需适应线网的规划，以及由车辆选配决定的限界、坡度、曲线在不同的地质条件下工程的可实施性。

2.2.3 社会性

车辆选配对环境的影响、服务市民的水平 and 促进城市的发展及国产化方面是其社会性。对环境的影响包含噪声、振动和景观 3 个方面，一般车型体量越小（轴重小）对环境的影响越小；服务市民水平包括行车间隔、接驳与换乘的便利性、准点率等方面；车辆国产化有利于引导城市相关产业的发展，降低车辆的综合拥有成本。据有关报道，B 型车现已批量采用国产化核心装备，整车国产化率达 85%，创下地铁列车国产化率的新高，社会效益相对明显。

2.2.4 经济性

考察车辆选配的经济性，应关注车辆的综合拥有成本，包括土建成本、车辆购置成本和运营成本等。

车辆选配决定了车辆限界、轴重、适应的曲线半径及供电方式，影响隧道和高架的体量；影响线路是否更容易避开障碍，减少不必要的线路长度、占地和拆迁工程，这些都直接影响土建成本及工程造价，而轴重的不

同则更长远地影响着运营能耗。至于车辆本身的购置成本（见表 3），因车辆类型不同，造价也相差比较大，如最低 B 型车人均定员车价 2.2 万元，最高 APM 车人均定员车价 9.42 万元。

表 3 国内轨道交通车辆购置费用

类型	车辆长度/m	定员/（人/辆）	价格/（万元/辆）	定员价/（万元/人）
广州无司机室 A 型车	22.0	310	996	3.21
北京无司机室 B 型车	19.0	250	550	2.2
无司机室直线电机	16.84	220	1 600	7.27
广州 APM	12.8	138	1 300	9.42

3 车辆选配实践中的几个倾向

随着我国轨道交通的深入发展，在规划前期开展车辆选配的专项研究已成惯例，大量的车辆选配实践积累了很多经验，也包括遗憾。事实上，每个城市都在按照自己的思路进行车辆选配，没有广泛的共识。下面归纳的在车辆选配实践过程中出现的几个倾向，值得商榷。

3.1 追求线网既有制式车型的延续性与选型的单一化，忽视适度规模问题

根据《轨道交通工程项目建设标准》的条文说明，“从线网运营管理进行综合考虑，不宜采用多种制式，应尽量一致，或一种类型车辆宜形成一定数量级规模”。这个非强制性要求，人们往往只看到前半句，忽视适度规模问题。诚然，延续性与单一化战略容易形成规模，达到资源共享的目的。资源共享有很多好处，如维护维修资源的共享、备品备件的共享、人力资源的共享等，对于节约成本减少投资很有必要；但同时需求的多样性得不到满足，如要求轨道交通线路布置灵活、要求适应各种地形地貌与水文地质特征、要求适应客流的不均匀分布等；线路的安全性、适应性、社会性与经济性也不一定最优，并且过度单一、过大规模可能引发管理失控，导致边际成本大于边际效益、进取与创新能力下降、退出成本上升。

3.2 过于依赖预测的远期高峰小时最大断面客流

人们在做车辆选配专项研究时，客流预测报告是主要依据之一。所谓预测并不完全等同现实，况且影响客流预测的因素很多，如轨道交通沿线土地利用性质及开发强度与速度、城市交通发展政策特别是机动车发展政策、线网规模、票价政策、服务水平和轨道交通的分担率及与常规公交的接驳等。这些因素存在不

确定性、不独立性,增加了预测的难度和误差(见表4),特别是近年来为了便于立项等原因,需要“证明”大客流的存在,使得客流预测更是掺杂了主观因素。表4中大部分线路的预测客流比实际客流大。相反,也有人列出国内个别城市主干线实际客流超过预测客流的情况,又从另一个侧面证明了“测不准”的现实。

表 4 部分城市轨道交通线路客流预测情况

线路	现状客流/ (万乘次/日)	现状 年份	预测客流/ (万乘次/日)	误差/%	预测 年份
上海2号线	49	2005	52	6.10	1998
上海3号线	26.2	2005	115	338.90	1998
上海5号线	5.5	2007	35	536.40	2000
北京13号线	12	2005	37.3	210.80	1999
北京八通线	5	2005	27	440.00	1996
广州1号线	42	2007	76.7	82.60	1990
南京1号线	18	2008	47.4	163.30	1999
天津滨海线	2.7	2006	12.7	370.40	2001

如果高误差的预测客流用来指导车辆选配及其线站规模,势必造成运能不足或铺张浪费。运能不足可以弥补,如在规模效应与可持续发展的前提下,可适当增加线网的密度,另外可通过城市综合交通政策来协调,毕竟任何交通工具都有承载极限和最优化的问题;而铺张浪费则带来资源的无谓消耗,使线路沦为城市无法卸载的包袱或弃之可惜的鸡肋。

2011年6月28日,深圳地铁共开通了5条线,分别为1~5号线,通车里程177.4 km。截止到目前,日均客运量基本稳定在183.1万人次(见图3、表5),客运强度为1.03万人次/km;而首尔客运强度1.92万人次/km,香港2.34万人次/km,东京2.76万人次/km,莫斯科3.32万人次/km。从线网效率与效益考虑,线网客运强度最好不要低于1.5万人次/km。

客运量方面(见图3),2011年7—11月间,深圳地铁全网最高日客流量为10月1日的250.72万人次;1号线客流明显大于其他4条线,客流稳定在每日约73万人次;3号线客流处于第2位,为38万人次;而其他3条线的客流曲线几乎重合,日均客流约24万人次。

客运强度方面(见表5),2011年7—11月间,深圳地铁1号线的客运强度最大,为1.85万人次/km,4号

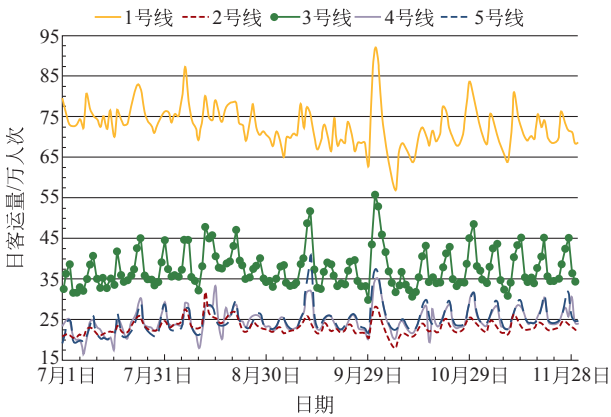


图3 2011年7—11月深圳地铁各线路日客运量

线客运强度1.21万人次/km,位居第2,其他3条线均低于1万人次/km。

表 5 2011年7—11月深圳地铁各线路客运强度

线路	车型及 编组	线路长 度/km	客运量/ (万人次/d)	客运强度/ (万人次/km)
1号线	6A	39.4	72.75	1.85
2号线	6A	35.8	23.15	0.65
3号线	6B	41.7	37.56	0.90
4号线	4A	20.5	24.75	1.21
5号线	6A	40.0	24.92	0.62

深圳地铁目前每天高峰时段(早上8:00—9:00,晚上6:00—7:00)保持在2 h以内,即能够保持满载,占全天17 h运营时间的11.8%,其他88.2%时段则保持较高的空载率。

在车辆选配时,如果太注重低概率事件的预测尖峰客流,刻意缩短高峰时段,完全依赖预测的远期高峰小时最大断面客流,这样的车辆选配应是值得商榷的。

3.3 过于强调车辆型式的运能裕量

如果过于强调车辆型式的远期高峰运能裕量,会使车辆选型工作本末倒置,陷入远期永远运力不足的死胡同。轨道交通不是城市公共交通的全部,应该定位为城市高端交通走廊,应该吸引更多的乘坐私家车出行的人们,以减少路面交通压力和污染的排放。一味强调运能裕量,结果高配车型;同时又为了避免服务水平太低,不得不承受高空载率,使得运营亏损加剧,左右为难。

深圳轨道交通现运营的5条线,车型配置仅3号

线采用 B 型车,另外 4 条线均为 A 型车。其主干线与次主干线客运周转量差距较大(见表 6),2011 年 7—9 月间客运周转量平均数,排列第 1 的 1 号线为第 2 位 3 号线的 1.7 倍、为第 5 位 2 号线的 3.89 倍。2011 年 7—9 月间 5 条线的运营电耗(见图 4),2 号线人均公里电耗 9 月份为 0.283 kW·h,最高;1 号线人均公里电耗 8 月份为 0.094 kW·h,最低。从图 4 中还可以看出,1 号线与 3 号线的人均公里电耗相近,4 号线与 5 号线的人均公里电耗接近,而两两之间人均公里电耗相差约 0.02 kW·h。以此计算,如果 3 号线同样采用 A 型车,则每月耗电量至少增加 250 万 kW·h,每年耗电量增加 3 000 万 kW·h 以上。

表 6 2011 年 7—9 月深圳
地铁各线路客运周转量 万人千米

线路	7 月	8 月	9 月	平均周转数
1 号线	21 676.53	22 413.09	19 529.72	21 206.45
2 号线	5 056.77	5 772.79	4 904.6	5 244.72
3 号线	11 893	13 674.37	11 818.79	12 462.05
4 号线	4 575.83	5 292.02	5 099.1	4 988.983
5 号线	6 456.84	7 513.03	7 401.44	7 123.77

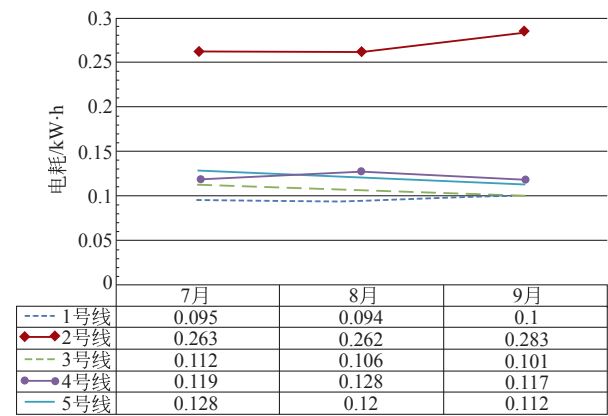


图 4 2011 年 7—9 月深圳地铁各线路人均每千米电耗

3.4 地方财政日益捉襟见肘,车辆选配却求新求大求全

世界银行在 2009 年的一份报告中指出,城市轨道交通是花费巨大且风险很大的项目,在大多数城市,可支付能力已经是或者将会是一个严重的问题,不好的地铁项目可能会耗尽经济。原来轨道交通工程建设每公里投入人民币 4 亿~6 亿元,现在个别线路已到达 7 亿~8 亿元。什么制式新上什么,什么车型大上什

么,有条件上,没条件创造条件也要上。不富裕的城市举全城之力修建地铁,如某市 2009 年全年的财政收入是 231 亿元,一条线路的建设几乎要耗尽全年的财政收入,更别说多条线路的同时开工,地方财政无力承担,就靠融资、举债,寅吃卯粮。

根据深圳上报国家的轨道交通三期建设规划,2011—2016 年间建设轨道交通 6~9、11 号线共 5 条线路,总长约 170 km,接近一、二期的总里程 178 km。三期工程建设总投资估算约 1 256 亿元,远超过一、二期 700 多亿元的总投资额。

除了修建时投资巨大,地铁还因其公共属性,几乎全世界的地铁运营都在亏本。北京市每年补贴地铁运营亏损 20 亿元左右;深圳地铁已亏损近 10 亿元,2012 年至 2016 年预计地铁折旧和利息亏损额约 220 亿元。

深圳地铁除 3 号线采用 6B 车辆编组、港铁深圳公司经营的 4 号线采用 4A 车辆编组外,其他线路均为 6A 车辆编组,据有关资料对 2012、2013 年运营利润预计,3 号线分别为 1.25 亿元、2.88 亿元,在所有线路中相对较高。因此,合乎客观实际的车辆选配,是有利于企业与城市可持续发展的。

4 城市轨道交通车辆选配的建议

近年来,我国一直在推行可持续发展战略、实践科学发展观,坚持把建设资源节约型、环境友好型社会作为加快转变经济发展方式的主要着力点。为避免走发达国家被石油绑架的老路,需要大力发展绿色交通,需将“节能减排”由生产领域向消费领域拓展。面对能源危机,一方面应该积极寻找和发展清洁能源,另一方面应该厉行节约,提高能源利用的有效性。

作为绿色交通的城市轨道交通工程,在大力建设的同时,更应该选择经济节约、技术成熟、国产化率高的系统设备。具体到城市轨道交通车辆系统的选配,就是要汲取过去的成功经验,并结合新的历史条件,探索新的选型路径,要有可持续发展的责任感。

为此,对新时期的城市轨道交通车辆选配提出如下建议:

1) 在客流预测可信度有限的条件下,要根据影响轨道交通车辆选配的主要因素进行综合评估,不能陷入预测客流决定论。对于地铁设计规范中,关于“地铁的设计运输能力,应满足预测的远期单向高峰小时最大断面客流量的需要”本身正确,但作为强制性实施条

文就值得商榷。

2) 进行城市轨道交通车辆选配时,首先需要对城市轨道交通线网作层级划分,分清楚哪些是主干线,哪些是次干线,哪些是支线、辅助线;哪些是主城区,哪些是城市副中心,哪些是边缘城区;哪些是连接城市的交通枢纽、区域交通枢纽或是国际交通枢纽。一般可划分为2个层次或3个层次,每个层次对应选配地铁A型车、B型车或轻轨C型车,有条件的或有特殊要求的也可以考虑配置其他制式。

3) 从前述远期高峰小时断面预测客流、影响车辆选配的“四性”(经济性、安全性、社会性和适应性)及各种制式车型比较分析,结合工程实践经验,如果远期客流量级属大运量以上,并且客流量在4.0万人次/h以下可选配B型车;客流量在4.5万人次/h以上可选配A型车;客流量在4.0万~4.5万人次/h之间时,则应综合考虑,或尽可能配置B型车,方便向上、向下衔接兼容,也避免城市间盲目、过度攀比,减少政府投融资及运营补贴的压力。

4) 对于客流量的确超过运能极限的运营线路,应优先考虑增加线网密度,通过增建复线、辅助线或轻轨,以及综合交通策略(常规交通协调、票价政策等)运用来疏解;其次才是考虑原线路车辆的改造和扩充。

5) 城市轨道交通制式、型式应避免单一化或多样化,应适度组合、适度规模,兼顾效率与需求。

5 结语

自1969年开通第1条地铁线路,我国城市轨道交通发展已走过了40多年。各种轨道交通车辆制式与型式在我国得到了广泛的应用,特别是常规的地铁轻轨(A、B、C型车)系统占据了国内90%以上的市场。通过如此大量的应用实践,不断检验与完善了车辆产品,也加快了车辆产品的国产化进程,其中尤以B型车

最为突出。

我国轨道交通车辆选配工作走过一些弯路,没有一套基本的思路框架与选配方法是主因,同时也存在不同程度的盲目性、相互攀比性。笔者通过研究分析国内轨道交通车辆选配的现状,并结合部分城市车辆选配的实践,提出了轨道交通按线网层级划分的车辆选配方式、方法以及优先发展策略,为今后的城市轨道交通车辆选配提供清晰的思路及合理的工作路径,使我国城市轨道交通走上一条良性循环的发展之路。

参考文献

[1] 安栓庆,王波,李晓霞.北京地铁5号线运营对轨道交通客流预测的启示[J].都市轨道交通,2008,21(6):14-18.

[2] 国家发改委综合运输研究所,世界银行.中国城市轨道交通发展的前景、问题与对策[R].北京,2010.

[3] 郑玉歆.节能减排须减少盲目性[J].学习与实践,2011(9):24-30.

[4] 张金辉.城市轨道交通车辆制式选择技术研究[D].北京:北京交通大学,2008.

[5] 建标104—2008城市轨道交通工程项目建设标准[S].北京:中国计划出版社,2008.

[6] GB 50157—2003 地铁设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.

[7] CJJ/T 114—2007 城市公共交通分类标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.

[8] 徐卓君,蒋丽娟.暗战地铁[J].南都周刊,2010(44):29-33.

[9] 深圳线网客运数据清分表[R].深圳:深圳市地铁集团有限公司,2011.

[10] 毕湘利,宋健.从效率角度谈城市轨道交通的规划建设和运营[J].交通与运输,2007(6):12-14.

(编辑:曹雪明)

Practice and Proposals for Vehicle Matching in Urban Rail Transit

Wu Linke Liu Kading

(Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen 518026)

Abstract: The vehicle matching of rail transit vehicles in China mostly focuses on regular models. This is adaptable to the objective conditions and basic needs of the development of urban rail transit. However, some problems are still existing on vehicle matching which resulted in blindness of calculating passenger flows and competition with each other, failing to pay due attention to the total cost of owner (TCO) and maintaining a relatively moderate and appropriate scale and coordination etc. Therefore, the author proposes the strategy of preferential development and the theory that vehicles of rail transit should be classified and matched by line network levels, thereupon to provide ideas and reasonable working route for the future vehicle matching of urban rail transit.

Key words: vehicle matching; TCO (total cost of owner); classified by line network level; moderate scale; no-load rate