

编者按 自2012年起,中国城市轨道交通协会(以下简称“协会”)着力推进城市轨道交通行业的数据统计工作,已积累了丰富、翔实的统计数据。数据范围将逐渐覆盖到中国内地所有开通城市轨道交通运营的城市,涉及专业也由规划、建设扩展到运营、经营等各个领域。为了充分发挥这些数据的作用,协会和《城市轨道交通研究》杂志社合作,组织专业人员从不同方面开展统计数据的深入分析工作,并形成系列文章陆续在协会指定专业期刊《城市轨道交通研究》上发表。计划第一阶段(2019年)组织10篇文章,以飨读者。

中国内地城市快速轨道交通线网换乘系数分析*

季登极 顾保南

(同济大学交通运输工程学院, 201804, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 城市轨道交通线网换乘系数是城市轨道交通线网规划方案评价的关键指标,其合理取值会影响规划方案的选择。基于中国城市轨道交通协会提供的统计数据,对中国内地2015—2017年各城市快速轨道交通线网换乘系数进行了统计分析,提炼出换乘系数的主要影响因素,分析了线网换乘系数与线网规模、线网结构之间的关系,最后提出了有关换乘系数的四点结论。

关键词 城市轨道交通; 换乘系数; 线网规模; 线网结构

中图分类号 U293.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.001

Tongji University, 201804, Shanghai, China

近十年来,中国城市轨道交通由快速发展阶段进入“爆发式”发展阶段^[1],大量城市轨道交通线路投入运营。截至2017年底,中国内地共计34个城市的165条线路(总长5 033 km)投入运营,全年累计完成客运量185亿人次^[2]。在中国城市轨道交通协会(以下简称“协会”)的大力推动下,许多城市日益重视城市轨道交通运营数据的统计工作。如果这些数据得到有效利用,可以推动城市轨道交通各方面的完善。

城市轨道交通线网换乘系数是反映乘客乘坐城市轨道交通出行便捷性的关键指标,也是评价城市轨道交通线网规划建设方案优劣的主要指标,因此,线网换乘系数的研究对于指导城市轨道交通线网规划建设方案优化具有重要意义。目前,国内已有一些文献通过统计分析的方法探究了几个城市轨道交通线网换乘系数的变化特征。文献[3]对城市轨道交通线网换乘系数与线网规模进行了相关性分析;文献[4-5]总结了都市轨道交通线路开通以来换乘系数的变化特征;文献[6]以北、上、广、深4个城市为例,探讨了城市轨道交通发展过程中线网换乘系数的变化特征。本文主要基于协会提供的统计数据,通过统计分析法和比较法,研究我国内地城市轨道交通网络化进程中,线网换乘系数的主要影响因素及变化特征。为降低研究难度,本文所指的“城市快速轨道交通”仅界定为拥有独立路

Analysis of the Transfer Coefficient of Urban Rapid Rail Transit Network in Mainland China

Ji Dengji, Gu Baonan

Abstract Transfer coefficient of urban rail transit network is a key index for the evaluation of urban rail transit network planning scheme, the reasonable value of which will affect the choice of planning schemes. Based on the statistics provided by China Urban Rail Transit Association, the 2015-2017 transfer coefficients of urban rapid rail transit network in mainland China are statistically analyzed, the main influencing factors of transfer coefficient are extracted. Based on an analysis of the relationship between network scale, network structure and transfer coefficient, four conclusions related to transfer coefficient are put forward.

Key words urban rail transit; transfer coefficient; network scale; network structure

Author's address School of Transportation Engineering,

* 中国城市轨道交通协会统计数据深入分析研究成果之一

权的地铁和轻轨线路构成的网络,不包括有轨电车、APM(自动旅客运输)系统、市域铁路、高速磁浮线等其他技术制式。

1 运营线网换乘系数的统计分析

线网换乘系数是各线客运量(乘次)之和与线网各站进站客流量之和(人次)的比值(换乘系数 =

乘次/人次 = n 人次/人次, n 大于等于 1。注:本文中所定义的换乘系数与现行标准 GB/T 51150—2016《城市轨道交通客流预测规范》略有不同。),换乘系数 = 乘客实际平均换乘次数 + 1。为了使结果更具代表性,各线客运量及线网各站进站客流量均采用年日平均值。利用协会统计数据计算,得到表 1 的换乘系数及其他指标。

表 1 2015—2017 年中国内地城市快速轨道交通运营线网换乘系数^[2,7-8]

城市	换乘系数			2017 年其他指标			
	2015 年	2016 年	2017 年	线路数/条	运营线路长度/km	线网各站进站客流量/(万人次/d)	负荷强度(万人/(km·d))
北京	1.94	1.89	1.90	21	588.50	545.50	1.76
上海	1.72	1.72	1.73	15	637.30	558.43	1.52
广州	1.68	1.69	1.71	13	390.58	445.58	1.95
南京	1.46	1.51	1.58	9	347.38	169.46	0.77
深圳	1.38	1.50	1.52	9	297.62	259.86	1.33
武汉		1.38	1.46	7	237.41	174.30	1.07
重庆	1.37	1.38	1.38	7	264.01	147.85	0.77
成都	1.25	1.38	1.48	6	175.05	145.22	1.22
天津	1.33	1.36	1.41	5	167.45	68.34	0.57
大连	1.02	1.13	1.18	5	157.88	36.39	0.27
郑州	1.00	1.11	1.62	3	93.56	42.63	0.74
苏州	1.26	1.27	1.41	3	120.66	47.66	0.56
西安	1.27	1.28	1.36	3	88.97	121.51	1.86
长春			1.36	3	65.07	18.19	0.38
杭州	1.16	1.19	1.24	3	103.74	75.01	0.90
昆明	1.00	1.00	1.08	3	88.70	31.58	0.39
哈尔滨	1.00	1.00	1.48	2	22.69	21.04	1.37
沈阳	1.27	1.28	1.27	2	53.96	65.88	1.56
宁波	1.10	1.25	1.26	2	74.52	24.41	0.41
石家庄			1.20	2	28.42	9.20	0.39
长沙	1.00		1.19	2	48.79	53.31	1.29
无锡	1.17	1.17	1.18	2	55.70	21.48	0.45
南昌	1.01	0.99	1.06	2	48.47	28.35	0.62
青岛	1.00	1.00	1.01	2	44.83	17.77	0.40
合肥		1.00	1.01	2	52.34	11.61	0.22
南宁		1.00	1.00	2	53.10	26.54	0.50

对表 1 的统计结果进行比较分析:

(1) 比较同一年份不同城市的轨道交通线网换乘系数:线路条数越多,换乘系数越大。2017 年,北京轨道交通线网条数最多(21 条),换乘系数也最大(1.90);两线、三线线网的换乘系数多数在 1.4 以下,四线以上线网的换乘系数多数在 1.4 以上,也有特例,如大连、昆明的轨道交通线网换乘系数偏低,

需要进一步分析。

(2) 比较同一城市不同年份的轨道交通线网换乘系数:2015—2017 年各城市轨道交通线网换乘系数呈现出不同的变化趋势。北京、上海、广州、重庆的轨道交通线网换乘系数基本保持稳定,年均变化率低于 2%;大部分城市的轨道交通线网换乘系数逐年稳步增长,年均增长率在 10% 以下;郑州市轨

道交通线网换乘系数年均增长率达31%,远高于其他城市,需要进一步分析。

2 运营线网换乘系数影响因素分析

城市轨道交通线网换乘系数的大小与城市轨道交通线网规模(线路条数)、线网结构、换乘点位置、客流分布等因素相关,限于资料,本文重点讨论前两个因素。

2.1 换乘系数与线路条数的关系分析

2.1.1 换乘系数随线路条数变化的特征

对表1中的换乘系数按线网条数分类计算平均值,得到2017年各类城市轨道交通线网的换乘系数均值为:两线线网1.17,三线线网1.35,四线至九线线网1.43,十线及以上线网1.78。因此,从整体上看,换乘系数随线网的线路条数增加而增大。

利用协会统计数据可得到换乘系数变化特征,如图1所示。

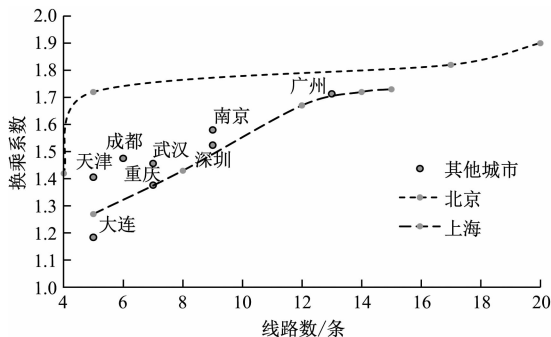


图1 中国内地部分城市轨道交通线网换乘系数与线路条数关系图^[2,5-6]

图1中,历年来北京、上海轨道交通线网换乘系数随线路条数的增加而增大。在线路条数相同的情况下,其他四线线网以上的城市2017年的线网换乘系数在北京、上海的范围之间。

从表1和图1中均可看出,2017年大连五线线网换乘系数(1.18)低于三线线网换乘系数均值1.35。考察2017年大连轨道交通线网的列车交路,可知2017年大连轨道交通线网实际上是由2个独立的两线线网构成的,而且约有18 km线路只有半年的运营数据;昆明与大连类似,2017年昆明轨道交通三线线网的换乘系数(1.08)低于两线线网换乘系数均值1.17,2017年昆明轨道交通线网实际上是一个两线线网,另一条线(3号线)是2017年8月底刚开通的,客流尚未培育起来。这些原因导致大连和昆明这两个城市的轨道交通线网的换乘系数

较低。

2.1.2 换乘系数增大的效果分析

在城市轨道交通线网总出行量(各站进站客流量)一定的前提下,线网换乘系数可以体现线网中乘客出行的便利性,该系数越大则表示乘客出行越不便利。但是,如果城市轨道交通线网换乘系数增大的同时线网总出行量也增大,这是否还意味着该市乘客出行便捷性降低了,这种情况下城市综合交通服务效果是提高还是下降了,需做进一步分析。

(1) 城市居民出行的方式选择基于城市综合交通系统。不同规模城市轨道交通线网吸引的客流量不同,线网规模越大,其吸引的客运量就越大。城市综合交通系统包括轨道交通、道路交通、个体交通等。多数乘客选择城市轨道交通出行的条件是基于时间较短原则,尤其是通勤人员,即:

$$T_{\text{轨道},t} < T_{\text{非轨道},t} \quad (1)$$

其中, $T_{\text{轨道},t} = T_{\text{轨道内},t} + T_{\text{轨道接驳},t}$

式中:

$T_{\text{轨道},t}$ ——乘客 t 时段内采用城市轨道交通方式从家到单位的出行总时间;

$T_{\text{非轨道},t}$ ——乘客 t 时段内采用非城市轨道交通方式从家到单位的出行总时间;

$T_{\text{轨道内},t}$ ——乘客 t 时段内在城市轨道交通线网内的出行时间,包括各线车上时间($T_{\text{车上}}$)及换乘与等待时间($T_{\text{换乘}}$);

$T_{\text{轨道接驳},t}$ ——乘客 t 时段内采用城市轨道交通出行接驳时间,为家到车站及车站到单位的接驳时间之和。

随着城市轨道交通线网规模扩大,线网覆盖的客流集散点就越多,线网中就存在更多的满足式(1)条件的起讫点对。表2中的实际运营数据也印证了这个判断。由表2可知,苏州、成都等城市的轨道交通线网规模的扩大都引起线网进站量的增加。

(2) 换乘系数反映的是城市轨道交通线网内平均每人完成一次出行的换乘次数。换乘系数增大,只表示线网人均换乘次数增加,并不说明乘客采用城市轨道交通方式出行的时间大于采用非城市轨道交通方式出行的时间。可以证明:如果在城市轨道交通线网出行量增加的同时,线网换乘系数还在增大,则表明有更多、更远的乘客被吸引到城市轨道交通线网中来。为简化证明过程,不妨假设当年的换乘客运量、非换乘客运量按 α 值等比率增长。

表 2 部分城市实际运营轨道交通线网的换乘系数与相关指标关系分析表^[2,7]

城市	线路数/条		运营线路长度/km			日均换乘量/万乘次			换乘系数		
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	增幅/%	2016 年	2017 年	增幅/%	2016 年	2017 年	增幅/%
广州	8	13	265	391	48	276	318	15	1.69	1.71	2
南京	6	9	224	347	55	77	98	28	1.51	1.58	5
深圳	8	9	286	298	4	117	136	16	1.50	1.52	2
武汉	5	7	179	237	33	54	80	48	1.38	1.46	6
成都	4	6	106	175	66	42	69	63	1.38	1.48	7
大连	4	5	144	158	10	4	7	70	1.13	1.18	5
苏州	2	3	68	121	78	9	20	128	1.27	1.41	11
郑州	2	3	89	94	5	3	26	717	1.11	1.62	47

$$X_{\text{换},t} = (N_{\text{换},t}H_{\text{换},t} + N_{\text{非换},t}) / (N_{\text{换},t} + N_{\text{非换},t}) \tag{2}$$

式中:

- $X_{\text{换},t}$ —— t 时期(年)内线网的换乘系数;
- $N_{\text{换},t}$ —— t 时期(年)内线网的换乘客运量;
- $N_{\text{非换},t}$ —— t 时期(年)内线网的非换乘客运量;
- $H_{\text{换},t}$ —— t 时期(年)内线网换乘乘客完成一次出行经历的平均上车次数。

$$X_{\text{换},t+1} = (N_{\text{换},t+1}H_{\text{换},t+1} + N_{\text{非换},t+1}) / (N_{\text{换},t+1} + N_{\text{非换},t+1}) \tag{3}$$

设第 $t+1$ 年的换乘客运量、非换乘客运量、平均上车次数增量分别为 $\Delta N_{\text{换},t}$ 、 $\Delta N_{\text{非换},t}$ 、 $\Delta H_{\text{换},t}$, 则有 $N_{\text{换},t+1} = N_{\text{换},t} + \Delta N_{\text{换},t}$, $N_{\text{非换},t+1} = N_{\text{非换},t} + \Delta N_{\text{非换},t}$, $H_{\text{换},t+1} = H_{\text{换},t} + \Delta H_{\text{换},t}$; 根据以上条件可得:

$$\begin{aligned} X_{\text{换},t+1} &= \frac{(N_{\text{换},t} + \Delta N_{\text{换},t})(H_{\text{换},t} + \Delta H_{\text{换},t}) + (N_{\text{非换},t} + \Delta N_{\text{非换},t})}{(N_{\text{换},t} + \Delta N_{\text{换},t}) + (N_{\text{非换},t} + \Delta N_{\text{非换},t})} = \\ &= \frac{(1 + \alpha)N_{\text{换},t}(H_{\text{换},t} + \Delta H_{\text{换},t}) + (1 + \alpha)N_{\text{非换},t}}{(1 + \alpha)(N_{\text{换},t} + N_{\text{非换},t})} = \\ &= X_{\text{换},t} + \frac{N_{\text{换},t}\Delta H_{\text{换},t}}{N_{\text{换},t} + N_{\text{非换},t}} \tag{4} \end{aligned}$$

根据换乘系数增大的已知条件 $X_{\text{换},t+1} \geq X_{\text{换},t}$, 可以得到有 $\Delta H_{\text{换},t} \geq 0$, 即: 如果当年的换乘系数比往年大, 则有更多更远的客流被吸引到城市轨道交通线网中来。

(3) 城市轨道交通线路条数的增加通常伴随线网中换乘客流的增长, 导致换乘系数增大, 其实质是有更多的非本线客流被吸引进来, 这就是通常所说的“客流网络化效应”。上述证明及表 2 均说明了这一点。

(4) 在城市轨道交通线网总客运量增加的情况下, 换乘系数的增大总体来说是有利的。城市轨道交通

交通线网客运总量的增加, 可以缓解日益加剧的道路拥堵状况。此外, 城市轨道交通线网客运量增大也说明有更多的居民在选择城市轨道交通出行时能够获得比非城市轨道交通出行更多的效用。在第 $t+1$ 年的新线网中, 换乘乘客完成一次出行经历的平均上车次数($H_{\text{换},t+1}$)增加了, 即换乘乘客完成一次出行平均需要换乘的次数增加了。乘客之所以会忍受多次换乘之不便还选择城市轨道交通方式出行, 是基于经验判断, 认为这样做会更加节约时间或具有更高的效用(综合考虑时间、费用节约等因素)。

2.2 换乘系数与线网结构的关系分析

从理论上, 线网结构直接影响乘客出行的换乘次数。例如, 放射型线网中, 任意两条线的各站之间的出行只需要换乘一次; 方格网型线网中, 平行线路之间则需要换乘两次。对这种特征在实际运营中是否会明显显现做进一步分析。

2.2.1 待比城市的线网结构

待比城市需满足如下条件: 线网结构稳定成型; 线网结构具有明显特征; 线网规模较为接近; 运营数据统计齐全。基于上述条件, 选择北京和上海 2 个城市的轨道交通线网进行比较研究。北京中心区轨道交通线网主要呈方格网结构, 而上海中心区轨道交通线网主要呈放射形结构, 如图 2 所示。

2.2.2 基于均匀分布客流条件的换乘次数比较分析

这里的均匀分布客流条件是指线网中各线路之间的换乘客流量相等, 这样可以通过排列组合统计各线之间的换乘次数。为简便计算, 假设各线之间的换乘客流量为 1 个单位。2017 年北京、上海轨道交通线网各线之间的换乘次数统计结果如表 3 和表 4 所示, 按换乘次数分类统计的换乘组合统计表如表 5 所示。

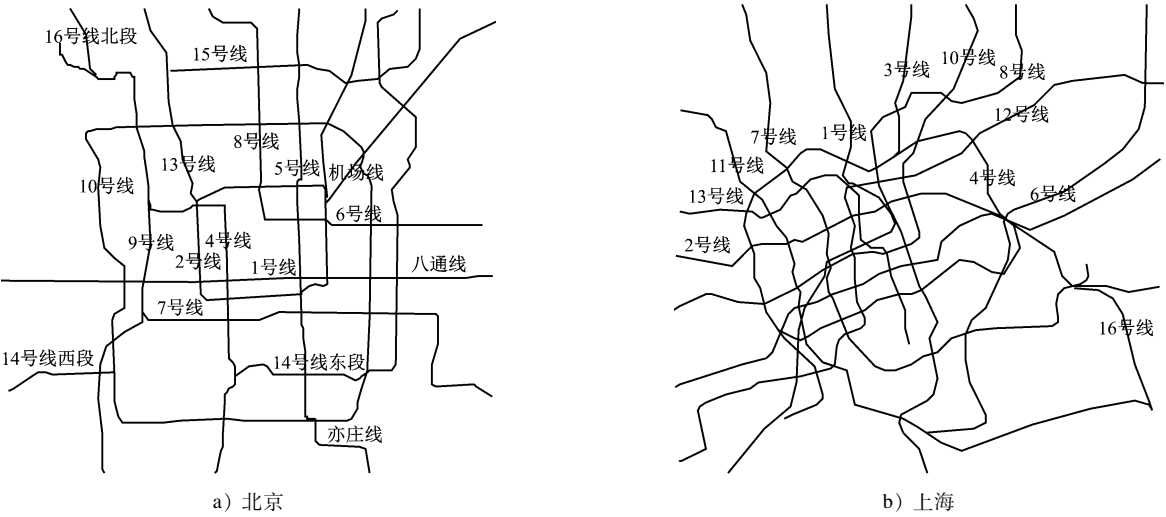


图 2 2017 年北京与上海的城市轨道交通线网结构图

表 3 均匀分布客流下北京轨道交通线网换乘次数统计表

线路	2 号 线	5 号 线	6 号 线	7 号 线	8 号 线	9 号 线	10 号 线	13 号 线	15 号 线	昌平 线	房山 线	亦庄 线	八通 线	机场 线	4 号线/ 大兴线	14 号线/ 西段	14 号线/ 东段	16 号线/ 北段	燕房线
1 号线	1	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2	1	2	1	2	1	2	3
2 号线		1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	3
5 号线			1	1	2	2	1	1	1	3	3	1	2	2	2	2	1	3	4
6 号线				2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1	2	3
7 号线					3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	1	2	1	2	3
8 号线						2	1	1	1	1	3	2	3	2	2	2	2	3	4
9 号线							1	2	3	3	1	2	2	2	1	1	2	2	2
10 号线								1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	3
13 号线									1	1	3	2	3	1	1	2	2	3	4
15 号线										2	4	2	3	2	3	3	1	4	5
昌平线											4	3	4	2	2	3	3	4	5
房山线												3	3	3	3	2	3	4	1
亦庄线													3	2	2	2	2	3	4
八通线														3	2	3	2	3	4
机场线															2	2	1	3	4
4 号线/大兴线															2	1	1	4	
14 号线西段																2	3	3	
14 号线东段																	3	4	
16 号线北段																		5	

表 4 均匀分布客流条件下上海轨道交通线网换乘次数统计表

线路	2 号线	3 号线	4 号线	5 号线	6 号线	7 号线	8 号线	9 号线	10 号线	11 号线	12 号线	13 号线	16 号线	17 号线
1 号线	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2
2 号线		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 号线			1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
4 号线				2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
5 号线					3	2	2	2	3	2	2	2	3	3
6 号线						1	1	1	2	1	1	1	2	2
7 号线							1	1	2	2	1	1	1	2
8 号线								1	1	1	1	1	2	2
9 号线									2	1	1	1	2	1
10 号线										1	1	1	2	1
11 号线											2	1	2	2
12 号线												1	2	2
13 号线													2	2
16 号线														2

表 5 2017 年北京与上海轨道交通线网换乘组合统计表

城市	一次换乘	两次换乘	三次换乘	四次换乘	五次换乘	合计
北京	52	80	41	15	2	190
上海	62	39	4	0	0	105

归纳表 3 ~ 5 可以得到：

(1) 至 2017 年底,北京已开通运营 21 条快速轨道交通线路,共有 190 个换乘组合(大兴线于 2010 年 12 月 30 日和 4 号线实现贯通运营,在换乘组合统计时视作一条线);上海已开通运营 16 条快

速轨道交通线路,共 105 个换乘组合。

(2) 北京的最大换乘次数为 5 次,上海的为 3 次。

(3) 在所有换乘出行中,北京的二次及以上换乘占总换乘次数的比例为 73% ,而上海仅为 41% 。

因此,上海放射型结构线网比北京方格网型结构线网的换乘次数少。

2.2.3 基于实际运营数据的换乘系数比较分析

北京与上海的轨道交通线网规模与客运量、换乘系数指标如表 6 所示。

表 6 北京与上海的轨道线网规模与客运量、换乘系数指标对比表^[2,7-8]

年份	城市	线路数/条	运营线路长度/ km	年线网各站进站 客流量/万人次	年各线网 客运量/万乘次	换乘系数
2015	北京	19	554.0	176 243	341 610	1.94
	上海	14	617.5	178 494	306 433	1.72
	上海/北京		1.11	1.01	0.90	0.89
2016	北京	20	573.4	193 885	365 929	1.89
	上海	14	588.4	196 961	339 714	1.72
	上海/北京		1.03	1.02	0.93	0.91
2017	北京	21	588.5	199 108	377 788	1.90
	上海	15	637.3	203 825	353 366	1.73
	上海/北京		1.08	1.02	0.94	0.91

2015—2017 年,上海轨道交通运营线网长度比北京的长 3% ~ 11% ,上海轨道交通运营线网年进站量比北京的大 1% ~ 2% ,但上海轨道交通运营线网年客运量比北京的小 7% ~ 10% ,上海轨道交通运营线网的换乘系数比北京的小 9% ~ 11% 。两个城市的进站量基本相同,但上海的乘客上车次数比北京的减少了约 10% ,年总换乘次数减少了约 3 亿人次。这从实际运营数据印证了放射状线网换乘系数比方格网状线网换乘系数小的结论。

北京轨道交通线网换乘系数较大的另一个可能原因是郊区线与市区线分段运营,因而增加了郊区线与市区线间的换乘次数。根据 2017 年北京市轨道交通运营统计数据,郊区线客运量占比仅为 8% ,故不影响上述结论的正确性。此外,客流集散点的分布与强度、线路间换乘站的点位设置因素等也会影响换乘系数,因暂无运营数据,故不作讨论。

3 结论

(1) 从 2015—2017 年的统计数据来看,中国内

地城市快速轨道交通线网的换乘系数范围为 1.00 ~ 1.90。

(2) 换乘系数随线网规模(运营里程及线路条数)增加而呈现增大趋势。本次研究的两线线网城市有 10 个,换乘系数均值为 1.17;三线线网城市有 6 个,换乘系数均值为 1.35;四至九线线网的城市有 7 个,换乘系数均值为 1.43;十线及以上线网的城市有 3 个,换乘系数均值为 1.78。北京轨道交通线网条数最多(21 条),换乘系数也最大(1.90)。

(3) 线网结构对换乘系数有明显影响,放射状线网的换乘系数比方格网状线网的换乘系数小。在线网客流出行量(各站进站客流量)相同的前提下,换乘系数越小越好,乘客在轨道交通线网内出行越便利。

(4) 换乘系数大的线网未必比换乘系数小的线网低效。换乘系数大,说明非本线客流比例在增大,体现了城市轨道交通客流的网络化效应。如果一个城市在换乘系数扩大的同时还增加了轨道交

(下转第 22 页)

$|\sigma_{\max}|$ ——最大等效应力的绝对值;

$|\sigma_{\min}|$ ——最小等效应力的绝对值;

$[\sigma]$ ——许用应力值。

构架主结构疲劳强度仿真计算结果如图 6 所示。由图 6 可知,整个构架材料利用率最高的位置位于侧梁上盖板与内侧立板焊接处,利用率为 0.999 8,小于 1,说明该转向架整体结构满足疲劳强度要求。同样,对齿轮箱吊座、电机吊座、二系横向止挡座、二系减振器座、一系减振器座和制动吊座等关键受力部件进行了疲劳强度计算。根据仿真计算结果,材料利用率均小于 1,说明本文中的铰接转向架构架满足疲劳强度要求。

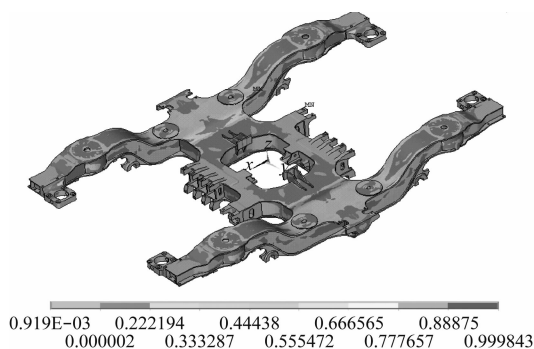


图 6 构架主结构疲劳强度计算结果

3 结语

本文中的铰接转向架能满足铰接动车组的运用需求,且动力转向架和非动力转向架的主体结构能够实现完全互换。铰接转向架整体的结构设计能满足低地板面(约 800 mm)的要求,同时,构架的设计也能满足强度要求。

铰接转向架及其构架的设计与研究,填补了我

国低地板铰接动车组转向架技术领域的空白,为日后铰接式列车在国内的研制和推广使用提供参考。

参考文献

- [1] 王福天,杨国桢. 铰接式高速客车转向架的设计与研究[J]. 铁道学报,1997,19(增刊):1.
- [2] 邓睿康,黄运华,冯帅,等. 铰接式转向架的特点及其发展[J]. 现代城市轨道交通,2013(6):21.
- [3] RYOHEI S. 日本铰接式转向架的开发[J]. 国外铁道车辆,2015,43(3):25.
- [4] European Committee for Standardization. Hot rolled products of structural steels-Part2; Technical delivery conditions for non-alloy structural steels; EN 10025-2—2004[S]. Brussels: Management Centre,2004:5.
- [5] European Committee for Standardization. Hot rolled products of structural steels-Part5; Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance; EN 10025-5—2004[S]. Brussels: Management Centre,2004:5.
- [6] European Committee for Standardization. Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels-Part1; Technical delivery conditions; EN 10210-1 [S]. Brussels: Management Centre, 2006:4.
- [7] German association for welding and allied processes e. v. Design and endurance strength evaluation for welded steel joints in railway vehicle construction; DVS 1612—2009 [S]. Dusseldorf: German association for welding and allied processes e. v., 2009:1.
- [8] International Union of Railways. Power vehicle-Bogie and running gear-Strength test of bogie frame; UIC 615-4-2003[S]. Paris: FrameMaker,2003.
- [9] European Committee for Standardization. Railway application-Wheelset and bogie-Method of specifying structural requirements of bogie frames; EN 13749—2011 [S]. Brussels: Management Centre,2011:5.

(收稿日期:2017-08-17)

(上接第 6 页)

通乘客总量,则说明轨道交通线网在城市综合交通中的作用更大了,为该城市的综合交通网络优化做出了更大的贡献。

参考文献

- [1] 宋敏华. 我国城市轨道交通发展回顾与思考[J]. 城市轨道交通研究,2018(5):8.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2017 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2018,26(4):8.
- [3] 戴小辉,安栓庄,俞懿宸,等. 城市轨道交通客流预测宏观指标统计分析[J]. 都市快轨交通,2017,30(6):39.

- [4] 张铮,张子栋,宗晶. 成都市轨道交通客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通,2017(4):75.
- [5] 陈必壮,王忠强,王祥. 上海市轨道交通网络化客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通,2013(6):28.
- [6] 刘剑锋,陈必壮,马小毅,等. 城市轨道交通网络化客流特征及成长规律——基于京沪穗深城市轨道交通网络客流数据分析[J]. 城市轨道交通,2013(6):6.
- [7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2016 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2017(1):20.
- [8] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2015 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2016(2):14.

(收稿日期:2019-02-25)