

大都市圈轨道快线形态比较研究及启示

江捷 林群 宋家骅

【摘要】基于大都市圈空间圈层划分，比较研究轨道快线规模、功能、通道、枢纽等方面的差异性，指出东京、纽约、巴黎三大都市圈具有不同的轨网形态。从城市空间形态和历史变迁等角度，分析职住分布、背景发展条件对轨道快线规划的影响，解释三种典型轨网形态的成因，总结国际大都市圈轨道快线规划的技术要点，为国内轨道快线规划建设提供参考。

【关键词】都市圈；轨道快线；职住分布；比较研究

1 引言

随着我国大城市逐步迈向都市圈发展阶段，城市通勤圈逐渐扩展到传统主城区以外，通勤出行时间不断延长。轨道快线被认为是提升该地区出行条件、缩短通勤时间、改善出行结构的有效交通工具^[1-2]。各大城市新一轮轨网规划普遍将轨道快线作为重点内容，但诸多关键规划技术环节仍存在较大争议。本文以国际三大都市圈为例，分析和总结轨道快线规划技术要点，为国内轨道网规划建设提供参考和借鉴。

2 都市圈空间圈层划分

交通运输的目的是以时间及金钱为代价实现空间移动^[3]，城市轨道交通系统的诞生及发展，是城市横向和竖向发展共同作用的产物，分析城市空间特征是研究轨网规划的前提。

国内研究通常将都市圈空间划分为三个圈层：市中心、市区和都市圈^[4-5]。诸多大都市圈通勤出行的研究表明，通勤圈范围通常超出城市行政边界，而又小于都市圈范围。例如东京都市圈最远地区距都心约 110km，而通勤圈范围约为 40~50km^[6-7]，这一范围又比东京区部大很多，纽约、巴黎都市圈也存在类似情况^[8-9]。为便于进行后续比较研究，本文在市区和都市圈之间加入通勤圈这一圈层，将东京、纽约、巴黎等三大都市圈的空间划分为四个圈层，如图 1-3 所示。各圈层面积、人口和岗位数据如表 1 所示。

- 市中心（1 区）：城市的 CBD 地区，通常面积仅为 20-40km²，居住人口约 18 到 60 万，但岗位规模高达 100 到 200 万，显示出岗位高度集聚的特征；

- 市区（1&2区）：市中心及外围高度建成区，面积约为600-800km²（距市中心15-20km内），人口约在600到800万之间（人口密度约为1万人/km²），一般为特定行政区域，如东京区部、纽约市及大巴黎区。2区是市中心就业者主要居住区之一，存在一定的就业岗位但密度远低于1区；
- 通勤圈（1、2&3区）：市区及近郊地区，面积通常约为2000-6000km²（距市中心30-50km），人口约在1000到2000万之间，是绝大多数以市区为目的地通勤行为发生区域，一般不受行政区边界限制。与市区相比，3区（近郊地区）就业岗位密度显著下降，人口密度也比2区低；
- 都市圈（1、2、3&4区）：4区（远郊地区）是都市圈最外围地区，与市区通勤联系明显减弱，总体上处于职住平衡状态。

上述对空间圈层划分参考了London Research Centre(LRC)著作《The Four World Cities Transport Study》中研究成果，本文在其基础上进一步引入岗位数与人口数之比这一参数，以解释3区本质即为通勤圈（原文中用commuter hinterland一词来解释3区，但在实际划分中并没有严格按照通勤圈范围来界定），并据此对巴黎和东京的空间圈层划分进行了修正：1) 原文中巴黎并没有4区，而是将本文的4区（巴黎大区）视为3区、3区视为2区。实际上，本文中的4区（巴黎大区）是巴黎都市圈8省合称，其范围超过巴黎通勤圈实际范围，应与同为4区的东京都市圈和纽约都市圈含义相当。而本文中的3区在原文中为巴黎都市圈建成区范围，是实际上的巴黎通勤圈。本文将巴黎市及紧邻三省组成的“大巴黎区”（法语为Petite Couronne，英译为little crown）作为2区，更符合2区市区的定义；2) 原文将东京都作为3区。东京都是东京区部、多摩地区和岛部的合称，虽然多摩地区的确是东京就业者的主要居住地之一，但包括神奈川、埼玉、千叶三县据东京站40-50km内的大部分地区都居住着大量的区部就业者。本文参考国内外学者对东京都市圈研究的最新成果(文献)，结合对东京都市圈细至町村级地区人口和岗位数据分析，识别出东京通勤圈的大致范围，将其作为3区进行比较。

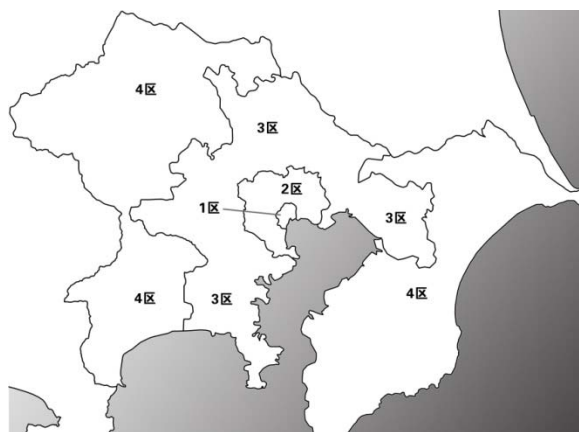


图1 东京都市圈圈层划分



图2 纽约都市圈圈层划分

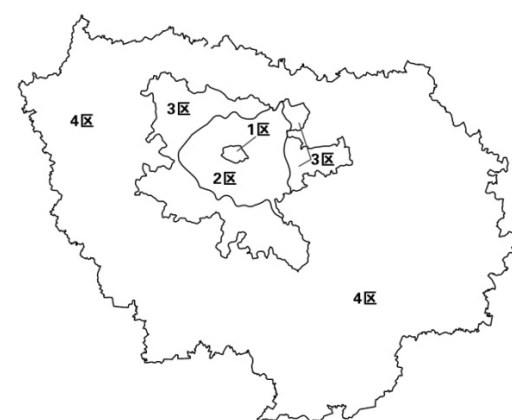


图3 巴黎都市圈圈层划分

表1 三大都市圈分圈域面积、人口及岗位规模统计

区域	东京				纽约				巴黎			
	面积 (km ²)	岗位数 (个)	人口数 (人)	岗位数 / 人口数	面积 (km ²)	岗位数 (个)	人口数 (人)	岗位数 / 人口数	面积 (km ²)	岗位数 (个)	人口数 (人)	岗位数 / 人口数
1 区	42	238.1	26.6	895%	23	196.7	54.3	362%	29	102.5	62.2	165%
1 & 2 区	617	724.9	816.4	89%	757	413.2	749.7	55%	762	351.4	614.1	57%
1, 2 & 3 区	3993	1126.6	2262.0 *	50%	5793	744.4	1352.6	55%	2060	449.4	879.1	51%
1, 2, 3 & 4 区	13143	1644.1	3179.7	52%	33165	1067.4	1984.3	54%	12011	507.5	1066.1	48%

注：引自《The Four World Cities Transport Study》，本文对变更圈层（东京3区、巴黎2区和3区）的数据进行了统计和更新。

3 大都市圈轨道快线形态比较研究

3.1 网络规模及分布

三大都市圈轨道快线和地铁分圈域统计数据如表 2 所示，具有如下特征：

1) 规模：轨道快线总规模达到 1500-3000km，是地铁线路的约 4-8 倍；

2) 布局：与地铁相比，轨道快线主要分布于 3-4 区，1-2 区线路规模相对较小。其中东京和巴黎 2 区内轨道快线规模显著高于纽约。

表 2 三大都市圈轨道快线和地铁分圈域规模统计

	东京		纽约		巴黎	
	轨道快线	地铁	轨道快线	地铁	轨道快线	地铁
1 区	36	99	7	73	23	86
2 区	368	191	160	317	383	115
3 区	1283	66	558	30	598	0
4 区	1321	0	877	0	496	0
合计	3009	356	1602	420	1501	201

注：1) 东京轨道快线包括 JR 和私铁线路，纽约为长岛、北方和新泽西三大通勤铁路系统，巴黎轨道快线包括 RER 和 Transilien 两大系统；2) 纽约数据引自《The Four World Cities Transport Study》，东京和巴黎数据根据当地政府统计报告更新至 2005 年。

3.2 快线功能细分

轨道快线规模大幅增长主要出现在郊区化发展阶段。这一阶段都市圈和通勤圈范围不断扩大，超出地铁\轻轨系统有效服务范围，需要一种更“快”且具有一定运输能力的轨道交通系统来满足距离更长、具有一定客运强度的大都市圈客运走廊出行需求。

多数轨道快线建设之初主要服务于都市圈通勤出行需求，服务区域一般在通勤圈以内，此类快线定义为“通勤快线”，如巴黎 RER 系统、东京私铁线路（主要提供通勤快线服务）及纽约三大通勤铁路系统。还有部分快线服务范围延伸至 4 区，这类线路提供全天候相对均匀的运输服务，发车间隔不具有明显的峰谷特征，以实现远郊地区与市区的连通可达为主要目的，此类快线定义为“连通快线”，东京 JR 线、纽约通勤铁路的部分列车及巴黎的 Transilien 系统均具有典型的连通快线特征。两类快线空间范围与运营特征如表 3 所示：

表 3 轨道快线功能细分

快线类型	空间服务范围	服务功能	运营特征
连通快线	联系 4 区、3 区与 2 区内	快速联系市区及外围地区，提高外围地区可达性	不具有明显高峰特征，全天发车相对均匀，发车频率较低
通勤快线	主要联系 3 区与 2 区内	以服务 3 区进入市中心的通勤出行为主，兼顾部分市区内部出行服务	具有明显高峰特征，高峰期发车频率接近地铁

3.3 内圈放射通道分配

虽然三大都市圈轨道快线规模都很大,但放射型轨道快线占放射型轨道线路比例相差甚远,也即三大都市圈在2区以内放射通道的资源分配上存在巨大差异。东京放射快线比例高达71%,巴黎为47%,而纽约则仅为21%(见表4),表明东京将更多的内圈放射通道分配给了轨道快线。内圈放射通道数量决定外围地区进入市区的客运能力,继而决定高峰期由外围进入市区的通勤者数量,暗示东京2区内有更多的就业者居住在外围。

表4 三大都市圈放射轨道线规模及构成

	东京	纽约	巴黎
放射线条数	34	24	36
放射快线条数	24	5	17
放射快线比例	71%	21%	47%

进一步考虑快线功能细分,东京24条放射快线中通勤快线比例约为三分之二,而巴黎则约为二分之一,显示东京约一半的内圈通道资源给予了通勤快线,而巴黎仅为四分之一左右。

3.4 快线走廊选择

1) 东京: 快线与地铁直通运营

东京早期轨道快线大多止于山手线,通过换乘地铁或有轨电车进入市中心,然而巨大的换乘量导致换乘枢纽瘫痪^[10]。东京意识到轨道快线引入市中心的必要性,通过轨道快线与地铁直通运营的方式分配有限的通道资源。根据地铁和快线列车在地铁区间内的运营特征,可将东京地铁13条线分为4种类型(见表5),其中I型线路不存在直通运营,仅提供地铁服务;II型线路高峰和平峰均提供一定的快线直通运营服务;III型线路高峰期以直通运营为主;IV型线路基本上作为快线进入市中心通道。可见,除了早期建成的地铁线及环线,其他线路在高峰期均为轨道快线直通运营提供便利。轨道快线进入地铁区间后采用站站停靠(与地铁列车无异),地铁运能并没有受到影响。

表5 东京地铁运营组织类型

类型	类型特征	代表线路	备注
I型	线路不存在直通运营,仅保障地铁运营服务。	大江户线、银座线、丸之内线	银座线和丸之内线因制式特殊而无法直通运营,大江户线为环线
II型	无论高峰还是平峰,地铁运营班次比例维持稳定,提供一定的直通运营服务。	三田线、日比谷线、有乐町线、副都心线	---
III型	地铁运营班次比例高峰期较低,平峰期较高,高峰期主要为直通运营通道。	浅草线(西马込至岳泉寺)、新宿线、东西线、千代田线	---

IV型	存在少量或基本不存在地铁班次，地铁线路实际上成为直通运营通道。	浅草线(岳泉寺至押上)、半藏门线、南北线	浅草线岳泉寺至押上段、半藏门线不提供地铁服务，南北线工作日每天仅有三班地铁发车。
-----	---------------------------------	----------------------	--

2) 巴黎：快线并线敷设

与东京不同，巴黎 RER 和 Transilien 功能差异明显，RER 的服务范围和运营特征具有典型的通勤快线特征，如服务范围主要在 3 区内、明显的峰谷发车特征及高峰期发车频率接近地铁等；而 Transilien 具有典型的连通快线特征。一条 RER 与一条 Transilien 线路并线进入市区是运最常见的敷设方式，RER 进入 2 区后停靠站点数量更多（以分散换乘压力）、且深入到市中心（进入市中心后 RER 线路间常并线敷设），而 Transilien 停靠几个主要站点后止于市中心边缘的七大火车站^[12]。

3) 纽约：快线与地铁独立通道敷设

虽然纽约轨道快线网络（通勤铁路）非常发达，但其形态为典型的“树枝状”，在外围地区通过大量的支线提高覆盖率，市区内并为几条主要通道进入市中心。纽约几乎不存在地铁与通勤铁路共通道或共轨的情况，快线与地铁通道独立，快线在市区内一般沿次要或边缘通道敷设，主要通道留给地铁。

3.5 轨道枢纽体系

通道资源分配及走廊选择上的显著差别，进一步导致轨道枢纽布局体系差异化。通过比较分析（见表 6），三大都市圈枢纽体系最大差别在于快线枢纽层级。东京的快线—地铁换乘枢纽规模最大（由于快线与地铁直通运营，大多数地铁枢纽同时也是快线—地铁枢纽），数量众多的快线—地铁换乘枢纽分散了通勤高峰期巨大的换乘压力；纽约由于快线进入市区的里程最少且通道独立，快线换乘集中在中央车站、宾州车站等少数几个大型枢纽；巴黎具有一定规模的快线—地铁枢纽，但快线—地铁枢纽和地铁枢纽相对独立。此外，东京和巴黎还拥有规模较大的快线—快线枢纽，这类枢纽基本位于外围，选址上常与重要城市节点耦合，带动外围重点地区的发展。

表 6 三大都市圈轨道枢纽等级和规模

枢纽类型		东京	纽约	巴黎
高铁-城市轨道交通枢纽		12 个	6 个	7 个
快线枢纽	快线-快线枢纽	30-35 个*	5-10 个	20-25 个
	快线-地铁枢纽	25-30 个	几乎没有	10-15 个*
地铁枢纽		35-40 个	35-40 个	35-40 个

注：1) 东京快线与地铁共轨重合的站点未计入；2) 巴黎 RER 与 Transilien 并线重合的站点未计入。

3.6 轨道网络形态

上述分析表明，三大都市圈轨道交通网络形态（以下简称轨网形态）截然不同，进一步分析职住分布特征，发现轨网形态与职住分布特征高度相关（见表 7）：

1) 东京轨网形态

东京市区约 304 万就业者居住在 20km 外（超出地铁有效服务范围），占市区就业者总数的 42%。东京轨网以通勤快线为主，为将大量通勤快线引入市区乃至城市中心，东京构造了极为复杂的轨道网络：一方面不得不通过直通运营增加通道资源分配的比重；另一方面大量快线和地铁在市中心交汇，形成诸多的多站换乘枢纽（据统计，山手线内 76 个轨道站中 34 个为换乘站，其中有 10 个 4 线换乘站，3 个 5 线换乘站）。

(2) 纽约轨网形态

虽然纽约通勤圈范围与东京基本相当，但市区仅有约 40 万就业者居住在 20km 外，通过地铁系统就可以覆盖 90% 的通勤出行，不需要大量的通勤快线。纽约“树枝状”的通勤铁路系统一方面适应外围就业者分布广而散的特征，另一方面由于这部分客流规模相对有限，得以集中利用少量通道进入市中心及在几个大型枢纽换乘。与东京相比，纽约轨网更为简单高效。

(3) 巴黎轨网形态

20 世纪 90 年代，巴黎约有 50 万就业者居住在 20km 以外，沿河谷或主要干道相对集中分布，RER 在这个阶段大规模建成并服务这部分通勤出行需求^[13]。与东京相比，巴黎通勤快线及枢纽规模相对较少，线路运营相对独立，轨网复杂程度介于东京和纽约之间。

表 7 三大都市圈职住分布特征与轨网形态

都市圈	轨网形态	1&2 区就业者居住在 20km 外规模（万人）/比例（%）	放射型快线占轨道放射线比例（%）	快线枢纽规模（个）
东京	通勤快线为主	304 万/42%	71%	55-65 个
纽约	地铁为主	40 万/10%	21%	5-10 个
巴黎	地铁+快线	50 万/14%	47%	30-40 个

4 对我国轨道快线规划的启示

通过上述比较研究，发现三大都市圈具有截然不同的轨网形态，而轨道快线是其中最大的变数。本节试图从历史变迁的角度，进一步分析其中成因。

4.1 轨网形态与职住分布特征高度相关

东京、纽约和巴黎均被视为强中心型城市的典型代表^[14-15]，然而三者在职住分布特征 h 和轨网形态上差异较大。从历史变迁的角度，城市空间形态与轨网形态呈现互动发展关系并

形成路径依赖效应，而起点则基于城市独有的资源禀赋^[16-17]。东京市区存在大量早期建成的木屋建筑，容积率低，居住单位的供应数量受限^[10]，在当时大的文化和法制环境下城市更新受阻，大量就业者溢出到外围地区产生了大规模通勤出行需求，轨道网络形态逐步演变成以通勤快线为主。纽约在 2 区分布了大量中高层居住区，将 90%通勤者留在了市区范围内（也即地铁有效服务范围），相应地纽约也拥有三者中规模最为庞大、布局和运营最为复杂的地铁系统。虽然巴黎在 20 世纪 90 年代前被视为强中心型城市的代表，但其受限于市中心用地和开发强度等方面的限制，逐步将新增就业岗位分布到 2 区和 3 区的多个副中心，近年来市区居住人口有所上升，职住分布更趋均衡，甚至出现一定比例的反向通勤出行^[18]。在这一过程中，通勤快线的功能也逐步由典型中心放射型线路转变为主次中心之间的快速联络线路。

与东京和巴黎相比，纽约通过城市土地利用规划有效控制通勤圈的无序蔓延将，不仅显著降低轨网复杂程度，减少基础设施投入，而且提高运输效率和服务水平。东京近年来也对职住分布形态进行了反思，提出一系列治理通勤圈的措施^[19]。我国诸多大城市通勤圈范围已经逼近 15-20km，控制通勤圈边界应是这一轮大城市规划重点；少数通勤圈范围已经扩大到 30-50km 的特大城市，则需尽早考虑走廊和枢纽预留控制，为快线引入中心城区创造条件。

4.2 细分城市空间和快线功能

轨道快线规模及布局与城市形态高度相关，对城市空间的识别和细分尤为重要，而这也正是国内轨道快线规划的一大困惑所在。文本借鉴国内外相关研究成果，基于都市圈内涵及实证范围广于通勤圈这一事实^[20]，识别出通勤圈和更广义的都市圈两个圈层，进而将轨道快线划分为通勤快线和连通快线。这两类快线在服务空间、功能和运营特征上差异较大，规划要点各不相同，不能一以概之。

连通快线和通勤快线在规划上需注意以下几点：1) 原则上快线均需引入市中心，但通勤快线比连通快线的需要程度更高，因为通勤乘客对时间和换乘敏感性更高^[21]；2) 通勤快线比连通快线更需要核心通道资源；3) 通勤快线高峰期客运量更大，进入市区后需要规划更多的站点，以分担上下客和换乘压力。

4.3 留意快线规划的发展背景

基于不同的发展背景，三大都市圈在快线走廊规划上做出不同选择，借鉴国际案例经验时必须考虑发展背景的差异性，不能盲目照搬。首先，须考虑职住分布的差异。放射快线比例低更有条件独立敷设，利用共轨或共通道等方式或是不得已而为之。其次，须考虑不同的轨网背景条件。1960 年东京通勤快线未引入中心区而出现种种问题，彼时东京大部分地铁

线路尚未建设，其及时在轨网规划中提出直通运营要求，从而实现地铁开通与直通运营同步。巴黎在修建 RER 之时地铁与市郊铁路均已建成，通过将部分市郊铁路轨道与市中心新建的地下通道相连形成 RER 系统，正因如此 RER 线路与 Transilien 才呈现出较多的并线敷设。第三，须认真分析每种模式的局限性。如东京直通运营虽然解决了通道分配，但快线列车进入地铁区间后站站停靠，通行速度受到影响，只能通过在外围越行来提速。一般越行组织将导致车站投资增加和运能降低，而东京私铁和 JR 线早期多为货运铁路，具有更长的站台（更大的编组数以提高单车运能）及更多的越行股道。巴黎整合分散的市郊铁路形成 RER 线，但部分市郊铁路由于供电制式不同，车辆难以过轨运行，直到研发出双伏特制式列车^[22]。

4.4 合理规划和预留换乘枢纽

轨道枢纽规划选址需与城市中心体系耦合。轨道快线引入市中心势必增加数量枢纽，尤其是多线（三线以上）换乘枢纽数量，在轨道网络规划时应视需求合理预留多线换乘枢纽，确保轨道出行最为集中的区域具有最好的轨道可达性和换乘条件。在外围次中心或重要发展节点构筑轨道枢纽，有助于提升区位，促进外围重点地区的发展。

5 结论及展望

轨道快线规划是这一轮轨网规划的重点和难点。本文以东京、纽约和巴黎三大都市圈为例，首先基于职住分布特征，将三大都市圈空间划分为市中心、市区、通勤圈和都市圈四大圈层，在此基础上通过比较研究轨网规模、快线功能、内圈通道分配、走廊选择和枢纽体系布局，提出三大都市圈具有三种不同的轨网形态。进一步，从职住分布特征和特定历史发展条件出发，分析轨网形态成因，总结三大都市圈快线规划的经验教训及对我国轨道快线规划的启示。

轨道快线是城市发展达到一定阶段的产物，离不开特定的发展条件和制度环境，今后应加强制度设计与快线规划方面的研究，为轨道快线规划落地提供更全面的参考和借鉴。

【参考文献】

- [1] 顾保南,郭长弓.上海城市轨道交通线网规划的问题及对策[J].城市轨道交通研究,2010,13(10):4-9.
- [2] 张晓春,宋家骅,邵源等.都市圈背景下深圳轨道交通发展战略研究[J].都市快轨交通,2012,25(3):1-6.
- [3] Merlin, P. Géographie des Transports, Que sais-je?[M].Presses Universitaires de France, 1992.
- [4] 吴雪明.世界城市的空间形态和人口分布--伦敦、巴黎、纽约、东京的比较及对上海的模拟[J].世界经济研究,2003,(7):22-27.
- [5] 王文静,陆化普.轨道交通与都市圈空间体系耦合关系研究[J].城市发展研究,2013,20(4):112-118.
- [6] 立澤芳男.「東京圏都市研究プロジェクト」調査レポート[R].東京:株式会社読売広告社 都市生

活研究局, 財団法人 ハイライフ研究所, 2005.

- [7] 西澤明. 東京圏の鉄道ネットワークと地域形成[J]. ネットワーク社会の将来, 2009:41-50.
- [8] Condit, C. The port of New York, a history of the rail and terminal system from the beginnings to Pennsylvania Station[M]. University of Chicago Press, 1980.
- [9] Caralampo, F. The Four World Cities Transport Study[M]. London Research Centre, 1998.
- [10] 刘龙胜, 杜建华, 张道海. 轨道上的世界——东京都市圈城市和交通研究[M]. 人民交通出版社, 2013.
- [11] 张晓莲. 美国城市郊区化与都市区发展[J]. 城市问题, 2001, (4):58-60.
- [12] 冯黎, 顾保南. 国外典型大城市市郊轨道交通的发展及其启示[J]. 城市轨道交通研究, 2008, 11(12):49-53.
- [13] 曾刚, 王琛. 巴黎地区的发展与规划[J]. 国外城市规划, 2004, 19(5):44-49.
- [14] Thomson M. Great Cities and Their Traffic[M]. China Architecture & Building Press, 1982.
- [15] Rodrigue JP. The Geography of Transport Systems[M]. Routledge, 2006.
- [16] 刘维奇, 焦斌龙. 城市及城市化的重新解读[J]. 城市问题, 2006, (6):7-10.
- [17] 李道勇, 运迎霞, 任晶晶等. 多中心视角下大都市区轨道交通与新城的协调发展——巴黎相关建设经验与启示[J]. 城市发展研究, 2013, 20(11):81-86.
- [18] Aguiléra, A., Wenglenski, S., Proulhac, L. Employment suburbanisation, reverse commuting and travel behaviour by residents of the central city in the Paris metropolitan area[J]. Transportation Research Part A 2009, (43):685–691.
- [19] 东京都市圈交通计划协议会. 平成 32 年通勤圏将来推計 [EB/OL]. <http://www.tokyo-pt.jp/index.html>.
- [20] 赵琳娜, 王伟, 季彦婕等. 乘客差异化需求对公交出行满意度的影响[J]. 城市交通, 2014, (4):65-71.
- [21] 李依庆, 吴冰华. 巴黎轨道交通市域线(RER)的发展历程[J]. 城市轨道交通研究, 2004, 7(3):77-81.

【作者简介】

江捷, 男, 硕士, 深圳市城市交通规划设计研究中心(深圳市交通信息与交通工程重点实验室), 工程师。电子信箱: jiangj@sutpc.com

林群, 男, 博士, 深圳市城市交通规划设计研究中心(深圳市交通信息与交通工程重点实验室), 技术委员会主任, 教授级高级工程师。电子信箱: linq@sutpc.com

宋家骅, 男, 硕士, 深圳市城市交通规划设计研究中心(深圳市交通信息与交通工程重点实验室), 规划研究所所长, 高级工程师。电子信箱: sjh@sutpc.com