

网络化后上海轨道交通未来发展的思考

陈必壮 王忠强 王祥

【摘要】本文分析了 10 年来上海轨道交通网络化发展特征，以及其对优化完善交通方式结构和提升综合交通效率，对引导和支持城市空间布局和用地优化等所发挥的重要作用。总结上海轨道交通网络化发展面临的两大主要问题，即运营效率不高、跟不上城市的快速发展。最后提出上海未来轨道交通网络化发展的几条建议。包括实现铁路与城市轨道两网融合构建多功能层次的轨道系统、发展以市郊铁路为主的市域快速轨道系统、构建轨道交通第二环线以适应城市空间的拓展并形成未来轨道线网扩展的基础和架构、发展多模式的辅助轨道交通作为轨道线网的补充等。

【关键词】轨道交通；网络化；多功能层次；第二环线

1. 引言

1993 年地铁 1 号线一期工程开通至今，上海轨道交通发展已有 20 年历史。上世纪末到本世纪初，上海开展了轨道交通线网规划编制，提出了远景年规划网络和指导近期建设的基本网络。经过本世纪初的十年建设，上海轨道交通从上世纪九十年代的单线快速进入了网络化阶段，期间建成了 355 公里的新线路。至 2013 年初，城市轨道交通已形成 11 条线路构成的网络，线网总长近 430 公里，市郊铁路 1 条约 56 公里，轨道交通基本网络初步成形。

十余年轨道交通的网络化发展，对优化出行方式结构，引导构建高效、快捷的综合交通体系，减缓中心城区道路交通拥堵等方面发挥了重大作用。同时，轨道交通网络对引导和促进上海城市发展、优化完善用地空间布局等也发挥了重要作用。然而十年来，上海轨道交通网络化发展过程中，在线网的规划建设 and 运营管理、轨道交通与城市用地空间布局等方面尚存在一些问题。至 2015 年，上海轨道交通基本网络将全面建成，标志着上海轨道交通的发展将进入一个新的阶段。因此，分析上海轨道交通网络化发展过程中取得的经验和存在的问题，对上海新一轮轨道交通远景年线网规划的修编和轨道交通新一轮建设规划等是非常重要也是十分必要的。同时，分析上海轨道交通网络化发展中的经验和问题，对我国其他大城市轨道交通线网的规划编制和轨道交通建设、运营、管理等也具有一定的参考价值。

2. 上海轨道交通网络化发展特征及其对城市发展的作用

2.1 轨道交通的网络化发展

(1) **线网规模快速增长。**本世纪初，上海完成了轨道交通线网规划编制后，为了要在较短的时间内，形成功能较完善，适应上海建设世界级城市发展要求的轨道交通网络，尽快发挥轨道网络的整体效益，2003 年，上海又完成了轨道交通基本网络的研究，以此指导了 2003-2012 年十年的轨道交通建设规划，从此上海轨道交通进入了网络化发展阶段。上海轨道交通网络化发展以“十五”期间轨道交通建设计划为基础，在 2003 年至 2012 年的十年年间，上海轨道交通的网络化发展经历了两个重要阶段：第一阶段是 2007 年底，“三线两段”

（即 6 号线、8 号线、9 号线、1 号线北北延伸段、4 号线修复段）建成运营，新增近 100 公里的新线路，同时轨道交通环线（4 号线）全面建成，初步形成了“一环四射”的线网架构；第二阶段为 2010 年上海世博会前，为了迎接世博会召开，在 2006-2010 年的五年里，上海加快了轨道交通的建设力度，新增线路近 200 公里，至此上海共建成了近 425 公里的轨道交通网络，中心城区重要商业、商务中心，主要居住区基本有轨道交通覆盖，轨道交通基本网络大部分线路建成，为世博会期间的高强度客流集散发挥了重要作用。

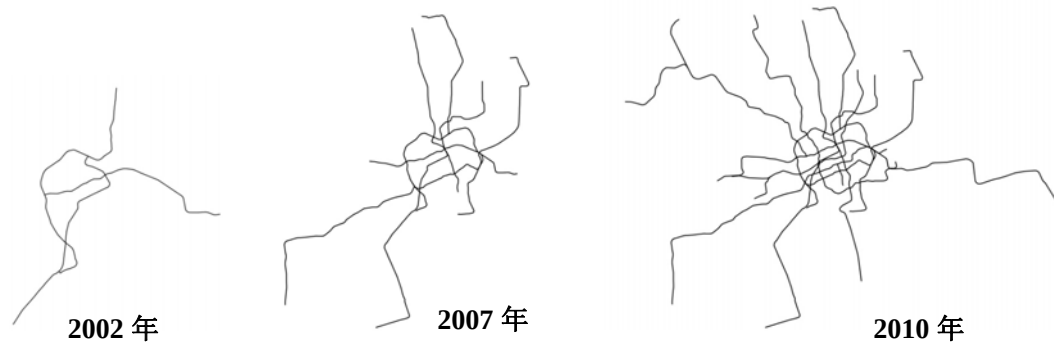


图 1 上海轨道交通网络化发展

（2）**线网客流成倍增加。**伴随轨道交通的网络化发展，轨道交通线网总客流也出现了快速增长，经过十年的发展，全网年日均客流从不到 100 万乘次增长至 660 万乘次，工作日客流已突破 700 万乘次。网络化发展后的第一阶段，即 2008 年和 2006 年相比，全网年日均客流从 180 万增长至突破 300 万，第二阶段，即 2010 年和 2008 年相比，年日均客流又从 300 万乘次增长到突破 500 万乘次。

2.2 网络化后轨道交通线网运行主要特征

（1）**换乘系数增加。**轨道交通网络化的重要特征是线路增多、换乘站不断增加，尤其是有环线城市，其轨道交通换乘更为明显。换乘站增加后，换乘出行占了轨道交通出行的相当大的比例，换乘系数也增加。2005 年，上海轨道交通线网约 110 公里，换乘系数仅为 1.17，2008 年线网扩展至 200 多公里，换乘系数增长为 1.43，至 2013 年，线网扩展至近 430 公里，换乘系数增长为 1.67。

（2）**网络乘距拉长，线路运距变短。**网络化后轨道交通线网覆盖范围越来越大，利用轨道交通的出行距离越来越长，因此轨道交通网络的平均乘距变长。与此相反，随着网络化后线路的增多，换乘次数的增加，线路长度本身没有随网络扩展而延长的轨道线路，其平均运距总体呈现变短的趋势。2008 年上海 200 多公里的轨道交通线网的网络平均乘距不到 12 公里，2013 年 400 多公里的线网网络平均乘距超过 14 公里。1 号线和 3 号线平均运距均则从 11 公里左右下降到 9 公里左右。

（3）**最高断面客流位置发生变化。**轨道交通网络化后，随着线路的增多、换乘站的增加，出行路径也会发生变化，同一条线路其最高客流断面位置也会相应发生变化。2004 年 4 号线未建成前，3 号线高断面位于宝山路站-上海火车站站，2008 年 4 号线成环运行后 3 号线高断面北移至东宝兴路站-宝山路站，而 2013 年三号线的高断面客流又进一步北移至赤峰

路站-虹口足球场站。4 号线建成后上海轨道交通由线到网发生根本变化，客流出行路径发生变化，3 号线北部去往浦东方向的客流在宝山路站直接换乘 4 号线实现，不再绕经市中心区；虹口足球场站实现一票通和站内换乘后，3 号线北段去市中心的客流主要在此换乘 8 号线进入，因此高断面位置又发生变化。

（4）部分线路或局部区段客流在短期内发生突变或快速增长。与单线客流平稳增长不同，网络化后轨道交通线路某些区段或车站的客流会因为新线路的引入发生突变或在短期内出现快速增长。2008 年，上海 2 号线年日均客流不到 80 万乘次，而至 2012 年，2 号线年日均客流已超过 120 万乘次，除了 2 号线东西两端延伸带来的客流增长外，7 号线、11 号线等新线路的引入也是 2 号线客流在两三年内呈现快速增长的重要原因。同样，4 号线作为一条环线，在网络化过程中客流也呈现快速增长，2007 年以来的 5 年不到时间里，其客流增长近一倍，与此同时，新线路的不断引入对 4 号线部分区段及车站也产生了客流冲击，如 2008 年 9 号线贯通至宜山路站引发了 3 号线宜山路站及邻近区段的客流激增，2009 年底 11 号线一期通车后引发了 3、4 号线曹杨路共线站及临近区段的客流激增，7 号线通车后使 3、4 号线镇坪路站成为一个客流大站。

2.3 网络化发展对交通和城市发展的促进作用

（1）网络化发展提升了综合交通的整体运行效率。一是优化方式结构形成基于轨道交通的出行方式链。轨道交通的网络化发展优化完善了上海的综合交通体系和交通方式结构。随着轨道交通的网络化扩展，地面公交、自行车、出租车、小汽车等的功能不断发生变化。地面公交出行距离逐渐缩短，短驳出行增加，单一的地面公交、自行车、出租车甚至是小汽车出行逐步向与轨道交通的换乘出行转换。目前，上海轨道交通出行中 40%以上的出行是需要依赖其他交通工具进行换乘出行，其中三分之二以上为公交车换乘轨道交通，超过 10%为自行车换乘轨道交通。**二是确立了中心城公共交通的主体地位。**上海中心城区公共交通在机动化方式出行中所占比例已接近 60%。2013 年 7 月，上海轨道交通工作日客流超过 730 万乘次，客运周转量达 6200 万人公里。

（2）轨道交通的网络化发展引导和支撑了城市发展。首先是支持了中心城重点地区开发。十年来轨道交通网络发展支持了上海中心城重点地区的开发建设，主要表现在以下几方面：一是为 2010 年世博会的胜利召开和世博会地区的后续开发发挥了巨大使用；二是支撑了中心城外围大型居住社区的开发建设；三是加快了老城区的改造提升，优化了市中心的用地功能。**其次是促进和支持了副中心的发展。**轨道交通网络化发展对上海城市副中心的促进有三种模式。一是新线增加提升副中心的能级和二次发展，如徐家汇；二是为已建设的副中心提供支撑，如五角场；三是为即将建设的副中心提供交通先导，如真如、花木。**再次是支持了浦东新区的发展。**轨道交通网络实现了上海浦东和浦西公共交通网络的一体化，尤其是 4 号线成环运行后，浦西与浦东一体化更为明显，利用 4 号线可以实现一次出行两次越江。越江轨道交通的建设为浦东与浦西之间的客运交通提供了便利，大大减轻了越江桥隧的交通压力，促进了浦东的居住和就业吸引力。

3. 上海轨道交通网络化发展面临的主要问题

3.1 线网整体运行效率并不高

(1) 高峰时段发挥了大客流作用但线网总体客流效益并不高。高峰时段上海轨道交通线网各条线路基本满载或超载运行,列车十分拥挤,轨道交通发挥了大客流运输作用,在上下班通勤交通中发挥了重要作用。根据 2013 年 5 月份客流统计,上海轨道交通全网工作日日均进站量约 441 万人次,线路客运总量约 735 万乘次,全网完成的工作日日均客运周转量约 6200 万人公里。尽管 1 号线、2 号线承担了超过百万乘次的上客量,1 号线、2 号线市区段、4 号线客流强度均超过 3 万乘次/公里,但近 430 公里的线网所承担的客流强度仅为 1.71 万乘次/公里,线网负荷强度仅为 14.43 万人公里/公里,上海 2380 万常住人口人均轨道交通出行仅为 0.19 次。与北京、广州相比,上海轨道交通总体客流效益相对较低,与东京相比,差距更远。

表 1 四大城市轨道交通线网运营指标比较(工作日)

指标 \ 城市	上海市	北京市	广州市	东京交通圈
常住人口(万人)	2380	2069	1284	3016
线网长度(km)	429	442	231	2300
线路上客总量(万乘次)	725	941	488	3600
线网进站总量(万人次)	441	517	300	2250
线网客运周转量(万人公里)	6200	8432	3346	48300
线网负荷强度(万人公里/公里)	14.45	19.08	14.48	21.00
人均出行次数	0.19	0.25	0.23	0.75
统计年份	2013 年 5 月	2013 年 3 月	2012 年 12 月	2002 年

(2) 客流在时间和空间上分布不均衡。一是郊区线路客流强度低。城区轨道交通客流强度高,而郊区轨道交通客流强度较低,如 2 号线线路一半分布在中心城外但近 84%的进站客流在中心城内;9 号线 61%的线路在中心城以外但中心城外车站的进站客流仅占全线进站客流的 38%。二是高峰客流集中。现状基本网络高峰时段四小时(7:00-9:00、17:00-19:00)进站量占全日进站量的 44.4%,其中早高峰两小时占 24.3%,而 5 号线、13 号线高峰四小时进站客流占全日客流比例则超过 50%。三是潮汐现象带来方向上的不均衡。如 7 号线北段早高峰小时进入 4 号线的向心断面客流是反方向客流的 6.6 倍、8 号线南段早高峰小时往浦西方向的断面客流是反方向的 4.2 倍,高峰时段客流的不均衡性导致了运能资源供需调配比较困难,反方向运能资源浪费。

(3) 出行速度并不高出行时耗拉长。现状基本网市区线路列车平均营运时速 30-35 公里,郊区线路列车平均营运时速约 45 公里。中心城及周边集中城市化地区尚有部分区域轨道交通出行总时耗超过 45 分钟甚至 1 小时,郊区居民轨道交通出行总时耗大多超过 1 小时甚至超过 90 分钟。全长超过 60 公里的 2 号线全程出行时间超过 100 分钟,而列车平均营运速度市区段和郊区段比较接近,均在 40 公里/小时左右。

(4) 高峰拥挤舒适度差。大部分线路高峰时段均比较拥挤,并且拥挤区段从市中心环线(4 号线)附近延伸至外围区甚至外环以外的近郊地区。由于受早高峰客流过度集中和列

车运能（运营列车数量、车型大小和编组长短等）、线路运能（信号系统、折返能力等）的限制，上海轨道交通早高峰拥挤区间拉长。如 1 号线北段（通河新村-上海火车站）北向南往市中心方向近 10 公里的区段、9 号线西段（九亭-肇嘉浜路）往市中心方向近 15 公里区段均为拥挤区间。大部分线路拥挤断面列车车内平均每平米站立人数超过 5 人，不少线路甚至超过 8 人。高峰时段拥挤区段出现乘客滞留站台现象，有些车站还不得不采取常态化限流措施。

3.2 线网规模和架构跟不上城市用地和空间结构快速变化的需要

（1）**人口持续膨胀，交通压力大。**2002 年到 2012 年的 10 年里，上海城市人口保持快速增长，2013 年初城市常住人口接近 2400 万人，是原总体规划确定 2020 年人口（1600 万人）规模的 1.5 倍，中心城区人口近 1200 万人，也是原规划 2020 年中心城人口（800 万人）的 1.5 倍。与此同时，郊区新城人口和规模增长一倍以上，从小城市、中等城市演变为大城市、特大城市。

（2）**主城区突破外环向外拓展，周边大居要求线网进一步延伸拓展服务面。**随着大型居住社区的规划建设，上海主城区实际范围已突破了规划外环以内中心城区，并呈现继续扩展的趋势，原规划宝山、闵行两个新城基本实现城区化，与中心城连绵为一体，共同构成未来上海的主城区。外环外大型居住社区纷纷要求邻近市区轨道线网进一步延伸拓展服务。

（3）**新的重点地区逐步出现。**虹桥商务区、浦东国际旅游度假区、虹桥会展中心、前滩商务区、滨江地区等新的重点地区规划不断涌现，而中心城及周边地区尚有大量工业、仓储和军事用地存在用地转型的变数，未来还将继续会涌现新的不确定的重点地区。现有及规划的轨道交通远景年线网规划将跟不上这些城市用地空间布局的新变化。

（4）**长三角特别是周边城市、镇要求加强和上海的联系。**随着长三角区域的一体化发展，上海毗邻周边城市与上海之间的出行量快速增长，周边城市纷纷要求与上海的轨道交通进行衔接。现状及规划的轨道交通系统将难以适应毗邻地区交通衔接的需要。

4. 上海新一轮轨道交通网络发展的思考

4.1 实现铁轨两网融合构建不同功能层次的轨道线网

随着轨道交通线网的扩展，线路从中心城区逐渐拓展至近郊区、远郊区甚至行政区外的都市圈其他地区，出行距离逐渐拉长但出行强度逐渐降低。城市的中心城区、郊区的出行特征本身就存在很大差异，中心城区客流强度高、出行距离相对短，郊区客流强度低但出行距离较长；中心城区轨道交通更注重大容量的运输特征，能够满足大容量的公共交通出行需求，而郊区的轨道交通更注重快速、舒适特征。而在中心城外围大型居住社区、郊区新城内部，具备一定规模的出行量，但采用常规城市地铁延伸服务又会造效益低，运能浪费。因此，网络化后上海轨道交通未来的发展应该体现至少三个功能层次：

第一层次：市域快速轨道。其主要功能是连接郊区新城、重要新市镇、大型居住社区、重点地区、中心城各级中心区等大型客流集散点，提供全市域的高水准出行服务。其建设标

准应在满足“速度”及“舒适度”要求的基础上，高峰时段具备一定的客流支撑。市域快速轨道旅行速度一般不低于 60 公里/小时，其中城区段不低于 50 公里/小时。乘坐舒适，大部分线路可以提供以横排座位为主的车辆运行，高峰时段拥挤度应远小于市区轨道。

第二层次：城区大容量轨道。主要为中心城区及周边集中城市化地区的大客流走廊提供大容量公共客运服务，平均旅行速度一般 30-40 公里/小时，这一层次就是传统的城市地铁系统，其主要作用就是解决走廊上的大容量出行需求，并保证一定的速度要求，以提升轨道交通的吸引力，目前上海的轨道交通基本属于这种层次。

第三层次：局域辅助轨道。一是为中心城区现状及原规划没有轨道交通覆盖的次要客运走廊提供服务，作为大容量城市轨道的补充；二是中心城周边新规划大型居住社区与邻近大容量轨道交通车站提供驳运服务，作为中心城大容量城市轨道的延伸服务；三是作为重点开发地区、郊区新城内部的骨干交通服务，并与前两个层次的轨道系统形成良好衔接。

4.2 发展市郊铁路，重构市域快速轨道系统

随着高速铁路的发展，上海铁路运输基本实现客货分离，京沪铁路（沪宁段）、沪昆铁路（沪杭段）等既有普通干线铁路运能出现富余，其中沪杭铁路外环线能力利用率仅为 53%。与此同时，近年来上海铁路货运量一直呈下降趋势，导致铁路支线利用率下降，如南何铁路支线能力利用率为 78%、部分区段低于 50%，浦东铁路一期因货运量严重不足造成运能闲置等。据统计，2003 年至 2009 年的 6 年间，铁路货运量下降了近 20%；与 2010 年相比，2011 年铁路货运量又下降了 15%。2020 年，上海还将规划建设沪通铁路、沪乍铁路、浦东铁路等，市域范围内普通铁路里程将超过 500 公里。研究利用既有及规划铁路，构建市郊铁路运营网络、对弥补轨道交通线网覆盖和功能上的不足是十分必要的，也具有一定的可行性。充分利用既有或规划铁路，为郊区新城（含新市镇）和长三角毗邻城镇至上海中心城、以及郊区新城（含新市镇）之间提供快速、舒适的出行服务，同时为对外交通枢纽提供快速集散服务。市郊铁路通过多样化运营组织模式，可以实现运行时速 60~120 公里，弥补了普通轨道交通速度上的劣势，能够为长距离出行提供快速、舒适（拥挤度低）的高水准服务。同时，市郊铁路是利用既有和规划铁路，建设投资成本低，并有助于提高铁路资源的利用率，实现铁路与城市轨道的融合。

现状或原规划的轨道交通及铁路不能提供快速服务的郊区新城，可以规划连接与中心城的市郊轨道快线。主城区大客流走廊，现有及规划轨道交通运能不能满足未来客流快速增长需要时，可规划平行的轨道交通快线，在提高通道运能的同时实现轨道交通出行长短距离的快慢分离。

4.3 轨道交通第二环线的规划设想

在第一环线（即 4 号线）以外，可考虑在中心城外围区，利用原规划切向线路、规划新增部分线路，形成第二条轨道交通环线，以适应上海主城区扩展、轨道交通线网扩展的新需要。轨道交通二环路的功能主要有三点：一是适应上海主城区扩展和城区轨道线网扩展的双重要求，连接中心城外围各放射线，疏解进出市中心的轨道客流，缓解放射线、四号线及市

中心换乘站高峰时段的客流拥挤，发挥对市中心网络运行的“保护壳”作用；二是优化完善上海轨道交通线网，为上海远景年轨道交通线网的优化完善奠定网络架构基础；三是通过环线客流疏散提高轨网运营的灵活性和可靠性，提升轨道交通运营的网络化，提高轨道交通网络的整体运行效率。设想的轨道交通二环线长度在 50~60km 左右，旅行速度 45~50km/h。

4.4 发展区域性辅助轨道系统

上海中心城区的次要客流走廊，常规公交服务适应不了其相对较高的客流需求，而走廊若采用大容量轨道服务又不经济；中心城周边的大型居住社区、重点建设地区、郊区新城内部若采用大容量轨道交通服务并不经济，而常规公交服务又满足不了客流需求。因此，在大容量城市轨道与常规公交之间需要发展一种中运量的辅助轨道交通，为轨道交通提供补充服务。

上海区域性辅助轨道交通的发展方向主要是：现状和规划均没有大容量轨道交通覆盖，高峰断面客流 1-2 万人次的客流走廊；规划人口规模 10 万以上的大型居住社区与邻近大容量城市轨道交通末端车站之间；虹桥商务区、浦东国际旅游度假区内部的主要客流走廊、重要交通集散点之间；嘉定、青浦、松江、南桥、南汇等规划人口超过 50 万的新城内部。

区域性辅助轨道的制式和服务水平要求：中心城区次要客流走廊、大型居住社区的辅助轨道交通建议采用中运量的城市轻轨系统；重点地区、郊区新城内部可以结合客流规模和城市设计采用多样化的制式。辅助轨道交通运行速度一般为 20-30 公里/小时，中心城区的中运量轨道交通应有相对较高的运送速度，为新城内部服务的中运量轨道交通速度可以适当降低。

5. 结语

2015 年，上海轨道交通基本网络将全部建成，然而，随着上海城市人口的增长、主城区的拓展和城市空间结构的调整变化、郊区新城的发展等，上海轨道交通网络还将继续扩展。未来上海轨道交通网络化发展应充分吸收过去十年的经验教训，从城市发展的长远来看，适应上海城市空间拓展、适应长三角区域一体化发展的需要。未来上海轨道交通网络化发展要更加重视铁路和轨道交通的两网融合、要重新构建多功能层次的轨道线网、要通过构建第二环线形成线网拓展的基础和架构，同时发展辅助轨道交通形成轨道网络的补充。

【参考文献】

- [1] 陆锡明 陈必壮 王祥 基于轨道网络的大城市综合交通规划理念 《城市交通》2010 年第 4 期
- [2] 陆锡明 王祥. 上海市快速轨道交通规划研究 《城市交通》2012 年第 4 期
- [3] 上海市城市综合交通规划研究所 《上海市轨道交通运输系统发展研究》报告 2012 年 10 月

【作者简介】

陈必壮，男，硕士，上海城市综合交通规划研究所，副所长，教授级高工。电子信箱：
allanchenb@163.com

王忠强，男，博士，上海城市综合交通规划研究所，副总工，高工。电子信箱：
wzqqzw2013@163.com

王祥，男，硕士，上海城市综合交通规划研究所，室主任，高工。电子信箱：
metro9122@163.com