

城市轨道交通概论

(第2版)

主 审 徐瑞华

主 编 罗 钦 陈菁菁

副主编 徐旭辉 李 伟 潘伟健

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

城市轨道交通是一种大运量、快速、准时、舒适的客运交通系统，能有效解决大城市人口密度高、交通流量大、道路拥堵严重、交通事故多等诸多问题。随着国内一些大城市的轨道交通网络化建设进程快速推进，不同类型的轨道交通线路并行发展，新线路、新技术、新设备的密集投入使用，大大改变原有的运营组织、管理和维护保障模式，呈现出线网结构和规模日趋复杂、不同轨道交通线路制式和功能多元化，列车运行方式多样化、客流需求时空分布特点多重性等特征。城市轨道交通是一个集土木工程、车辆、供电、通信信号、运营管理等于一体的复杂综合系统。考虑到交通运输（城市轨道交通方向）课程体系建设的需要，本书主要从总体角度概要性介绍城市轨道交通概念、类型、发展情况、系统构成及特点、以及各子系统之间的相互关系，此外，在本次第二版修订中，增加了相关内容的数字资源，旨在使学习城市轨道交通基础理论和专业知识的学生或从事相关工作的人士能初步了解及更直观掌握城市轨道交通的线路工程、轨道结构、车辆、通信、信号系统、供电、运营组织等方面的基本知识，为以后进一步的专业课程学习打下基础。

本书是“城市轨道交通运营管理系列教材”之一，在本书的编写过程中，得到了深圳技术大学城市交通与物流学院和深圳地铁运营集团许多老师、工程师的帮助和大力支持，同时，郭莹、王卓群、莫义弘、侯宇菲、杨永泰、徐涛、项奕凡、林华桢、曾志鹏、陈伟龙、蔡洋、林彬等深圳大学和深圳技术大学研究生和本科生全程参与并做了大量工作，在此一并表示感谢。本书参考了国内外大量书籍、文献和资料，在此谨向相关作者表示崇高的敬意和衷心的感谢。

此外，感谢深圳技术大学教材出版基金及广东省高校轨道交通智慧运维工程技术开发中心（2019GCZX006）资助。

限于水平，书中难免疏漏或差错，敬请广大读者批评指正。

编 者

2020年10月10日

AR 资源目录

序号	章	节	资源名称	资源类型	页码
1	第一章 绪论	第三节 世界城市轨道交通的发展	伦敦地铁北站国王十字-圣潘克拉斯站 站台	动画	P5
2			巴黎地铁 2 号线民族广场终点站	动画	P9
3			东京地下铁丸之内线新宿站站台	动画	P15
4		第四节 我国城市轨道交通发展	上海地铁共线运营接轨站	动画	P30
5	第二章 城市轨道交通的类型	第三节 轻轨	上海轨道交通 5 号线列车	动画	P37
6		第四节 单轨交通	我国重庆轨道交通 2 号线(跨座式单轨)	动画	P40
7		第五节 现代有轨电车	法兰西岛大区有轨电车 1 号线	动画	P40
8		第五节 现代有轨电车	Translohr 导向轮与导向轨	三维模型	P42
9		第六节 自动导向系统	新加坡武吉班让 (Bukit Panjang) LRT	动画	P43
10		第七节 磁浮交通系统	上海磁浮示范线列车浦东机场站	三维模型	P46
11		第八节 市域快速轨道交通	法兰西岛大区市郊铁路线圣克 卢站	动画	P48
12		第四章 城市轨道交通线路工程	第一节 线路选线	高架线横断面形式示意图	三维模型
13	第一节 线路选线		地面线横断面形式示意图	三维模型	P77
14	第一节 线路选线		常见折返线形式示意图	动画	P80
15	第二节 线路平面		地下线设置位置示意图	动画	P82
16	第二节 线路平面		高架线设置位置示意图	动画	P82
17	第二节 线路平面		轨距加宽示意图	动画	P86
18	第二节 线路平面		外轨超高示意图	动画	P87
19	第二节 线路平面		轮对宽度、轨距和游间	三维模型	P88
20	第四节 限界		地铁限界图	动画	P94

21	第五章 城市轨道交通 的轨道 结构	第二节 钢轮钢轨轨道 结构	架空式接头	三维 模型	P98
22		第二节 钢轮钢轨轨道 结构	绝缘接头侧面	动画	P100
23		第二节 钢轮钢轨轨道 结构	道岔地段铺设的系列岔枕	动画	P105
24		第二节 钢轮钢轨轨道 结构	分开式弹条Ⅱ型扣件	动画	P107
25		第二节 钢轮钢轨轨道 结构	DTⅢ2型扣件截面尺寸	三维 模型	P109
26		第二节 钢轮钢轨轨道 结构	板式轨道	三维 模型	P115
27		第三节 道岔	道岔的转辙部分	动画/三 维模型	P118
28		第六节 磁浮交通系统 轨道结构	上海磁浮轨道系统	三维 模型	P121
29	第六章 城市轨道交 通车站	地面车站	地面车站	视频	P124
30		第二节 城市轨道交通 车站分类	站台布置形式	动画	P128
31		第三节 城市轨道交通 车站平面布置与结构	深圳地铁站台门	三维 模型	P133
32		第三节 城市轨道交通 车站平面布置与结构	某地下车站设备层布置	动画	P134
33		第四节 车站机电设备 与管理	BAS系统结构图	动画	P142
34		第四节 车站机电设备 与管理	U/O风机	三维 模型	P144
35		第四节 车站机电设备 与管理	自动扶梯结构图	三维 模型	P148
36		第四节 车站机电设备 与管理	全高封闭式屏蔽门	动画	P150
37	第七章 城市轨道交 通车辆	第二节 车辆的基本组成	转向架的基本结构	动画	P172
38		第二节 车辆的基本组成	构架	三维 模型	P174
39		第二节 车辆的基本组成	一系弹簧悬挂转向架示意图	动画	P175
40		第二节 车辆的基本组成	两系弹簧悬挂转向架示意图	动画	P176
41		第二节 车辆的基本组成	Scharfenberg密接式车钩缓冲装置	三维 模型	P177
42		第二节 车辆的基本组成	深圳地铁车辆半永久性牵引杆结构	三维 模型	P178
43		第四节 车辆段	车辆段总体布局示意图	动画	P186

44	第八章 城市轨道交通 供电系统	第二节 电力牵引供电 系统	电力系统和城市轨道交通供电系统示意图	动画	P193
45	第九章	第三节 闭塞	移动闭塞时列车间隔示意图	动画	P211
46	城市轨道交通 通信信号 系统	第四节 联锁	车站进路划分	动画	p215
47	第十章 城市轨道交通 运营管理	第二节 运输计划	世界主要城市轨道交通系统运营时间	动画	P229
48		第二节 运输计划	三种列车交路	动画	p232
49		第三节 列车运行图	列车运行图的坐标表示	动画	p236
50		第四节 客运组织	站厅层设置导流栏杆	视频	P255

AR 资源使用帮助：

1. 请按照本书封底的操作提示，下载安装“轨道在线”APP。
2. 安装完成后打开 APP（请允许弹出的所有权限申请，否则将导致 APP 无法正常使用），点击添加图书并输入封底刮层中的 12 位序列号，系统将开始下载 AR 资源包。
3. 下载完成后，请点击图书的图标，然后将手机或平板对准书中带有 AR 标志的插图，即可浏览对应 AR 资源。

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 城市轨道交通的概念与特点	1
第二节 轨道交通的发展历史	2
第三节 世界城市轨道交通的发展	4
第四节 我国城市轨道交通发展	25
课后思考题	34
第二章 城市轨道交通的类型	35
第一节 概 述	35
第二节 地 铁	36
第三节 轻 轨	37
第四节 单轨交通	38
第五节 现代有轨电车	40
第六节 自动导向系统	42
第七节 磁浮交通系统	45
第八节 市域快速轨道交通	47
课后思考题	52
第三章 城市轨道交通线网规划	53
第一节 城市总体规划与轨道交通线网规划	53
第二节 城市轨道交通基本建设程序	53
第三节 线网规划的基本原则与主要内容	54
第四节 城市轨道交通客流预测	57
第五节 线网方案和规模研究	63
第六节 线网规划方案评价	71
课后思考题	73
第四章 城市轨道交通线路工程	74
第一节 线路选线	75
第二节 线路平面	81
第三节 线路纵断面	90
第四节 限 界	93
课后思考题	95

第五章 城市轨道交通的轨道结构	96
第一节 概 述	96
第二节 钢轮钢轨轨道结构	96
第三节 道 岔	116
第四节 无缝线路	119
第五节 单轨系统轨道结构	119
第六节 磁浮交通系统轨道结构	121
课后思考题	123
第六章 城市轨道交通车站	124
第一节 概 述	124
第二节 城市轨道交通车站分类	127
第三节 城市轨道交通车站平面布置与结构	130
第四节 车站机电设备与管理	138
第五节 换乘站建设	157
课后思考题	165
第七章 城市轨道交通车辆	166
第一节 概 述	166
第二节 车辆的基本组成	170
第三节 车辆的技术参数	182
第四节 车辆段	184
课后思考题	188
第八章 城市轨道交通供电系统	189
第一节 概 述	189
第二节 电力牵引供电系统	190
第三节 动力照明供电系统	194
第四节 电力监控系统	198
第五节 杂散电流	200
课后思考题	202
第九章 城市轨道交通通信信号系统	203
第一节 城市轨道交通通信系统	203
第二节 城市轨道交通信号基础设备	205
第三节 闭 塞	210
第四节 联 锁	214
第五节 列车自动控制系统 (ATC)	217
课后思考题	223

第十章 城市轨道交通运营管理.....	225
第一节 运输计划	226
第二节 列车运行图	235
第三节 列车运行调度指挥.....	243
第四节 客运组织	250
第五节 设施设备管理	261
第六节 安全与应急管理	264
第七节 主要运营指标	266
课后思考题	266
参考文献	267

第一章 绪 论

第一节 城市轨道交通的概念与特点

城市轨道交通是在不同形式轨道上运行的大、中运量城市公共交通工具，是当代城市中地铁、轻轨、单轨、自动导向、磁浮等轨道交通的总称，主要服务于城市公共客运，是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化交通系统。城市轨道交通车辆在固定轨道上运行，有别于道路交通；服务于城市公共客运，也有别于城际铁路。在中国国家标准《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114)中，将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通之总称”。在《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009)中，城市轨道交通被定义为“采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统，包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统”。

相比于城市道路交通，城市轨道交通具有明显的优势：运能大；运行准时、快速；安全性高；能耗低，无污染，利于环境保护；用地省，能实现大运量的要求，具有明显且良好的社会效益。

1. 容量大

地铁单向每小时运送能力超过3万人次，轻轨交通的单向每小时运送能力介乎于1万~3万人次，而公共汽车的单向每小时运送能力仅为8000人次。在客流密集的城市，通过建设轨道交通可在极大程度上缓解交通压力。

2. 运行准时、快速

城市轨道交通是一种独立的有轨交通系统，有专用线路，基本不受道路交通状况的影响，也极少受到其他交通方式的干扰，一般不会出现类似于因道路交通阻塞而延误运行时间这样的问题，可保证旅客准时、迅速抵达目的地。由于轨道交通系统有良好的线路条件与自动控制体系，兼有可靠的安全保障措施，一般城市轨道交通旅行速度为35~40 km/h，而道路公交的旅行速度通常只有15~20 km/h。

3. 安全性高

城市轨道交通建于地下或高架，与其他交通工具相互之间无干扰，且自身有可靠的安全保障措施，在没有突发灾害或事故的情况下，运行安全能够得到充分的保障。

4. 能耗低

由于城市轨道交通是大运量集约化的客运系统，如果按每运送一位乘客的能耗多少来

评价，是其他任意一种交通方式所无法比拟的，因此可节约大量能源。在同样运输工作量的前提下，小轿车的能耗是轨道交通的 6~13 倍，公共汽车的能耗是轨道交通的 1.8 倍。

5. 无污染

城市轨道交通采用电力牵引，对环境几乎没有污染，有利于环境和生态保护，对现代都市的可持续发展带来较大且长远的利益。从环境污染量来看，城轨交通的氮氧化合物、硫氧化合物的排放量等指标远低于小轿车及公共汽车。

6. 用地省

正是因为城市轨道交通多建于地下或高架，充分利用了城市空间，节省了日益宝贵的城市土地资源。从土地占用量来看，在同等运能下，道路公交的用地是轨道交通的 8~10 倍，小轿车则对土地资源的要求更高。

尽管轨道交通拥有上述种种优势，但其局限性亦不容忽视。首先，城市轨道交通建设投资巨大，施工要求高且难度大，而运营成本高昂，经济效益有限，如果没有足够强的整体经济实力，是无法承受此等巨额投资的。其次，城市轨道交通系统建设周期长，一条线路的建设短则几年，长则可达十余年，甚者数十年之久，对于周边的影响不言而喻。最后，建成后的线路调整难度大，线路和车站均为永久性结构，一旦建成后改造的成本巨大。因此，决定是否建设城市轨道交通前需要谨慎细致地开展前期研究，切不可盲从跟风。

第二节 轨道交通的发展历史

人类古代文明的发源都与河流有关，如两河流域文明、恒河流域文明与黄河流域文明等，一个重要原因是史前的人类无法解决在地面上克服摩擦力来运送重物的问题，因而只能采用水运。因此，早在公元前一万年，世界各地的人们就开始进行水上交通运输。直到公元前 3 500 年，轮子的出现才改进了人类的陆上交通工具。而近代文明前的陆上重物运输往往借助于轨道，人们在不平整的地面上铺设了由原木或打磨过的石灰石组成的轨道，借助人力或畜力推拉安放在轨道上的重物。人类使用轨道的最早记载是在公元前六世纪，在希腊有一条 6 km 长的轨道，称作 Diolkos (Δίολκος)，其用于将船只从地中海的萨罗尼科斯湾 (Σαρωνικός) 拖至科林西亚湾 (Κόρινθος)。奴隶拉着载着船只的架子沿轨道将其搬运至目的地。

马拉轨道车辆出现在希腊、马耳他和罗马帝国，而在至少两千年后才出现使用加工过的石材作为轨道，轨道有凹槽或挡肩，限制车轮只能沿轨道行走。直至十八世纪中叶，因铁质车轮对木质轨道会带来严重损坏，才发明了铁制轨道，但轨道强度不足，容易发生变形，此后又出现类似现代钢轨的轨道形式，铁质车轮内侧高出轮踏面而形成轮缘，卡在铁轨间以提供车辆的导向力以保证车辆沿轨道行驶。到十九世纪中叶，因为蒸汽牵引已占据交通动力的主导地位，所以铁轨也逐渐开始占据主导地位。而在十九世纪二三十年代，在伦敦和纽约就已经出现了公共马拉或驴拉轨道车辆被用于城市客运。十九世纪八十年代

前后，公共马拉或驴拉车辆更是风靡北美各大城市。



图 1.1 希腊 Diolkos (Διόλκος) 轨道 (图中黑圈内部) 示意图

蒸汽机问世后，人们逐渐开始设想将其运用到驱动车辆运动上来的可能性。1769 年，法国工程师居纽造出了第一辆蒸汽驱动的三轮汽车。1801 年，英国也出现了蒸汽汽车，但由于传统运输业带来的压力，这类车辆只允许在专用轨道上行驶。随后在 1803 年，英国人特里维西克制成第一台实用铁路蒸汽机车，最高时速可达 5 km/h。1823 年，斯蒂文森主持修建英格兰北部煤矿城市斯托克顿与沿河城市克林顿之间的首条商用铁路，正式将火车推向实用。1825 年 9 月 27 日，斯蒂文森亲自驾驶其设计制造的“旅行号”机车在铁路上试车，取得了空前的成功。该机车牵引 6 节煤车、20 节满载的旅客的客车，载重达到 90 t，时速 15 km/h。1830 年，利物浦—曼彻斯特铁路贯通，斯蒂文森驾驶的“火箭号”时速达到 29 km/h，该车完全使用蒸汽牵引，全程未出现故障，这一事件宣告了“铁路时代”的到来。

此后，西方诸国大力推进铁路建设，修建铁路的热情高涨。从 1840 年到 1913 年，世界铁路运营里程从 8 000 千米猛增至 110 万千米。几乎所有西方国家都不遗余力地加入这一行列，将大笔资金及大部分的钢材都投入到铁路建设中去，其中又以美国最甚，仅 1881 年至 1890 年的十年间，就创下了运输年均修建 1 万千米铁路，每年钢产量的 70% 都用于轧制钢轨的纪录。铁路的快速及超前发展，奠定了西方资本主义国家工业化的坚实基础。第一次世界大战前，铁路已经垄断了陆上交通运输。在美国，98% 的城市间旅客周转量由铁路承担，在其他资本主义国家，交通运输量的 80% 以上由铁路承担。铁路发展在 1940 年达到鼎盛时期，全球铁路运营里程已达到 135.6 万千米。

第二次世界大战后，铁路的发展大受打击，其原因主要是汽车运输与航空运输的崛起。一方面，汽车制造业以及高速公路网的跨越式发展夺取了铁路在中短途运输中的份额，而汽车的自由程度则更是铁路所不可比拟的，这严重削弱了铁路的发展。另一方面，现代航空业以及喷气式飞机的发展则抢占了铁路长途运输的份额。尽管乘坐飞机费用高昂，但其时间成本却比当时的铁路降低不少，这进一步打压了铁路的发展。除了其他交通方式的竞争因素外，铁路公司内部的恶性竞争与行业内部的不思进取，加之新技术未能得到及时采用，最终导致轨道交通行业每况愈下，陷入了“夕阳产业”的窘境。但在 1973 年发生的第

一次石油危机后，铁路的发展再一次得到人们的重视。与此同时，集装箱货运的发展也带动了铁路的复苏，尤其是 1964 年日本东海道新干线的通车让人们再一次发现了铁路运输的巨大潜力。此后，铁路的发展迎来第二春，西欧诸国紧随日本也开始了高速铁路的研制工作，其中又以法国的 TGV（Train à grande vitesse）和德国的 ICE（Intercity Express）最具代表性。从 2007 年开始，中国也加入高速铁路快速发展的行列，截至 2019 年年底，中国高速铁路通车里程已达到 3.5 万千米，居全球首位。除中国、日本、法国、德国外，全球还有韩国、西班牙等国已建成高速铁路并投入运营。

在铁路发展与城市交通日趋拥挤的背景下，城市轨道交通应运而生。1863 年 1 月 10 日，由英国律师查尔斯·皮尔逊在伦敦发起投资修建的“大都会铁路”（Metropolitan Railway）正式通车运行，此即世界上第一条地铁。它的诞生，为人口密集的大都市如何发展公共交通提供了一个解决方案。此后，包括英国的格拉斯哥、美国的纽约等在内的大城市相继建成地铁，特别是 1879 年电力机车的成功研制，极大改善了地下客运环境和服务条件。1900~1924 年，法国巴黎、德国柏林、美国费城等大城市相继建成地铁。随着第二次世界大战爆发，全世界的城市轨道交通建设处于低潮，但仍有日本的东京、大阪等少数城市修建了地铁。由于汽车产业和快速公路的迅猛发展，城市轨道交通发展陷入停滞。1973 年第一次石油危机以及城市里日益严重的交通问题让人们重新认识到城市轨道交通的优越性，促使人们重新向市中心聚集。此后数十年间，城市轨道交通取得长足发展。在 1975~1995 年的 20 年间，世界上有三十余座城市建成或正在修建地铁，包括华盛顿、温哥华、香港、上海等。进入 21 世纪，由于世界经济的进一步发展，不仅是发达国家，发展中国家的许多城市也在大力发展城市轨道交通，且制式渐趋多样化，一度被拆除的有轨电车也在部分国家和地区以全新的面貌出现在世人面前。

第三节 世界城市轨道交通的发展

本节主要介绍国外比较有代表性的城市轨道交通系统，包括巴黎、伦敦、东京、莫斯科和纽约等的城市轨道交通系统。

一、伦敦

伦敦城市轨道交通系统规模庞大，历史悠久。其地铁系统（英文名为 Underground 或 The tube）是欧洲规模最大、世界建成最早的，首条线路于 1863 年 1 月 10 日便建成通车。除久负盛名的地铁外，伦敦的城市轨道交通系统还包括码头区轻轨（Docklands Light Railway, DLR）、横贯铁路（Crossrail）、地上铁（Overground）、有轨电车线（Tramlink）以及由国家铁路运营的市郊铁路。截至 2019 年年底，总共有 11 条地铁线路投入运营，码头区轻轨 DLR 有 7 条路线，地上铁 Overground 共有 6 条线路，横贯铁路目前只开通 1 条线路，贯穿伦敦市区并连接伦敦郊区与市中心，于 2019 年 12 月全线通车。有轨电车 Tramlink 共有 4 条线路。大伦敦地区轨道交通线网如图 1.2 所示，两个站台如图 1.3 和 1.4 所示。

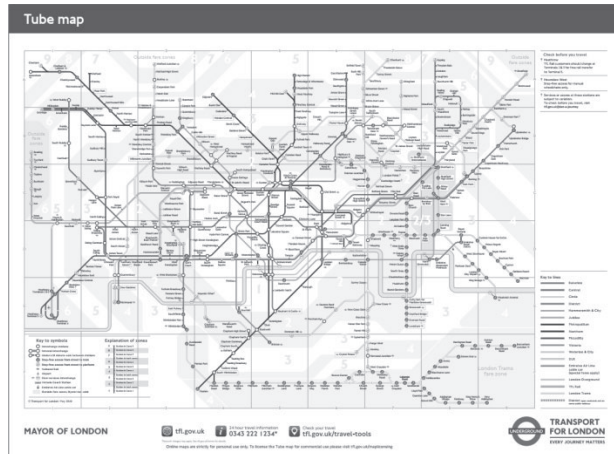


图 1.2 大伦敦地区轨道交通线网图



图 1.3 伦敦地铁北线（Northern Line）国王十字-圣潘克拉斯站（King's Cross-St. Pancras）站台



图 1.4 码头区轻轨格林威治站（Greenwich）站台

伦敦地铁服务于大伦敦地区及邻近各郡，是世界上最早建成的地铁。为应对人口快速增长所导致的严重交通问题，早在 19 世纪 30 年代，律师查尔斯·皮尔森就提出了修建地下铁路穿城而过的想法，但由于资金等问题，线路直到 1860 年才开始修建。线路均采用明挖法修建，并被称为“大都会铁路”（Metropolitan Railway），从帕丁顿（Paddington）到法灵顿街（Farrington Street），全长 6 km。如今这段线路是环线（Circle）、汉默史密斯及城区线（Hammersmith & City）以及大都会线（Metropolitan）的一部分。线路在 1863 年 1 月 10

日正式通车运行，运营时借用了大北方铁路公司（Great Northern Railway, GNR）的蒸汽机车和车辆。尽管常有乘客被浓烟熏得晕过去，但通车首年即运送 950 万人次，翌年更跃升至 1 200 万人次，足见其成功。此后，线路埋深加大，修建时隧道截面被挖成近似的圆形，“tube”的绰号便由此而来。在 1890 年前后，蒸汽机车逐步被替换为电力机车。尽管地铁被称为 Underground，但事实上只有 45% 的线路位于地下，其他大部分线路（尤其是在伦敦外围区域）均位于地面以上。早期的地铁线路由多家私营铁路企业运营，后来才统一由伦敦交通局（Transport for London, TL）下辖的伦敦地铁有限公司（London Underground Limited, LUL）运营。现今的伦敦地铁线路概况如表 1-1 所示。

表 1-1 伦敦地铁线路概况表

线路名称	启用时间	里程/km	起讫站		车站数	使用车型
贝克卢线	1906 年	23.2	哈罗威尔斯顿	象堡	25	1972 Stock
中央线	1900 年	74.0	西瑞斯丽普/伊灵道	海恩诺特/伍德福德/埃平	50	1992 Stock
环线	1884 年	27.2	汉默史密斯	艾威道	35	S7 Stock
区域线	1868 年	64	伊灵道/肯辛顿—奥运/里士满/温布尔顿	艾威道/上敏斯特	60	D78 Stock S7 Stock
汉默史密斯及城区线	1863 年	25.5	汉默史密斯	巴金	29	S7 Stock
朱比利线	1979 年	36.2	斯坦莫尔	斯特拉福德	27	1996 Stock
大都会线	1863 年	66.7	贝克街/奥德门	阿默舍姆/切舍姆/阿克 斯桥/华特福德	34	S8 Stock
北线	1890 年	58.0	肯宁顿/莫登	艾威/上巴奈特/东米尔山	50	1995 Stock
皮卡迪利线	1906 年	71.0	卡克福斯特斯	希斯罗机场 2、3 号客运 大楼/4 号客运大楼/5 号客 运大楼/雷纳道/阿克斯桥	53	1973 Stock
维多利亚线	1968 年	21	布里克斯顿	沃尔瑟姆斯通中心	16	2009 Stock
滑铁卢及城区线	1898 年	2.5	银行纪念碑	滑铁卢	2	1992 Stock

伦敦地铁的运营方式独具一格，特别是共线运营，其共轨方式与规模特点都比较突出。在共轨的线路规模上，共轨区段里程约 68 km，涉及的共轨线路有 6 条，共轨车站约 70 座，约占车站总数的 26%。在共轨的组合方式上，不仅地铁线路与市郊铁路或地上铁共轨，而且地铁线路与有轨电车线路间也存在共轨运行区段。这样设计，从乘客的角度来看，减少了换乘走行距离和时间，提高了换乘效率，极大地满足了不同方向的换乘需求；从地铁运营者的角度来看，缓解了换乘车站的换乘压力。伦敦地铁高水平的线路共轨运行运营组织，对运输计划编制水平、列车运行安全保障技术以及轨道列车信号等的升级改造提出更高的要求。

码头区轻轨线是 1987 年开通的一条全自动化轨道交通线路，最早是为了振兴因货运量锐减而衰败的码头区（Docklands）而规划的。该线路有部分是利用了原有的一条货运铁路，迄今该条线全长 39 km，共计有 45 座车站投入运营，其中又有六条线路（支线）。由于客运

量小，该线路采用两节编组列车运行的方式。

大伦敦地区的市域快轨系统主要包括地上铁、横贯铁路（Crossrail）以及由 19 家私营运营公司运营的部分国家铁路线路，其中地上铁是 2007 年启用的通勤铁路系统，它为大伦敦地区以及邻近的哈特福德郡（Hertfordshire）提供通勤服务。线路全长 167 km，共计 9 条线、112 座车站。该系统的部分线路属国家铁路网，但由 TL 授权控制管理。自 2016 年起，该线网由 Arriva 公司获得授权进行管理。另一条通勤铁路是横贯铁路。这是一条贯穿伦敦市区、连接伦敦郊区与市中心的城市铁路，西起雷丁（Reading），途经希斯罗机场（Heathrow），东西贯穿整个伦敦城，东达申菲尔德（Shenfield）和埃比伍德（Abbey Wood），随着 2019 年 12 月雷丁（Reading）的延伸线建成通车，横贯铁路至此前线通车开始运营。除地上铁和横贯铁路外，大伦敦地区的市域快速轨道系统还包括国家铁路网授权 19 家私营企业运营的线路，其里程超过 3 000 km，超过 70% 的线路位于伦敦中心城区以外的地区，线网密度颇高，并且在不同的交通圈形成不同的站点密度及站间距。在伦敦中心区内部，市域快速轨道交通站点密集，站间距较短；离中心区越远，则站间距越大，适应了大都市不同交通圈的不同交通特征，以及出行的多样化需求。在伦敦中心区内部，市域快速轨道交通线路总长达到 788 km，车站数高达 321 座，平均站距为 2.5 km；近郊区（50 km 交通圈）市域快速轨道交通总长 923 km，车站 254 座，平均站距约 3.5 km；远郊区（100 km 交通圈）线路总长高达 1 360 km，但仅有 173 座车站，平均站距达到 7.5 km。

有轨电车线 Tramlink 是服务于伦敦南部克罗伊登（Croydon）地区的一个有轨电车系统，在 2000 年投入运营。和大多数西方国家大城市相似，伦敦的有轨电车也曾占据公共交通出行的半壁江山。但在 1935 年，由于其便利性远不及柴油驱动的公共汽车与私家车，发展遭遇困境，并在 1952 年被全部拆除。直至 1994 年，议会才批准修建克罗伊登有轨电车。Tramlink 使用低地板车辆，并利用部分既有的国家铁路线路，在城市道路上，Tramlink 与道路交通共有路权。与下述的法国法兰西岛大区（Région d'Île de France）有轨电车多条线路独立运营不同，Tramlink 虽有 4 条路线，但在部分路段共轨运营。

二、巴黎

本节提及的巴黎城市轨道交通系统，指的是巴黎市区及其所属的法兰西岛大区的城市轨道交通系统，包括在巴黎市区及近郊运行的地铁（Métro）、近郊省份的有轨电车、连接巴黎市中心和法兰西岛大区的区域快线（Réseau Express Régional, RER）和远郊铁路 Transilien（部分线路运行范围延伸至周边大区的邻近市镇）。截至 2019 年年底，总共有 16 条地铁线路（14 条主线，2 条支线）、5 条 RER 线路、10 条有轨电车线路，以及 8 条 Transilien^① 远郊铁路，运营商为巴黎独立公交公司（Régie autonome des transports parisiens, RATP）以及法国国家铁路公司（Société nationale des chemins de fer français, SNCF），其中巴黎地铁、RER A、B 线部分区段以及除有轨电车 4 号线以外的有轨电车线均由 RATP 运营，其余线路由 SNCF 运营。法兰西岛大区轨道交通线路图如图 1.5 所示。

^① 在 SNCF 运营区段上的所有轨道交通线统称为 Transilien，但为便于区别，Transilien 常指从巴黎市区内各大火车站始发的远郊铁路，并与区域快线及有轨电车 T4 相区别。

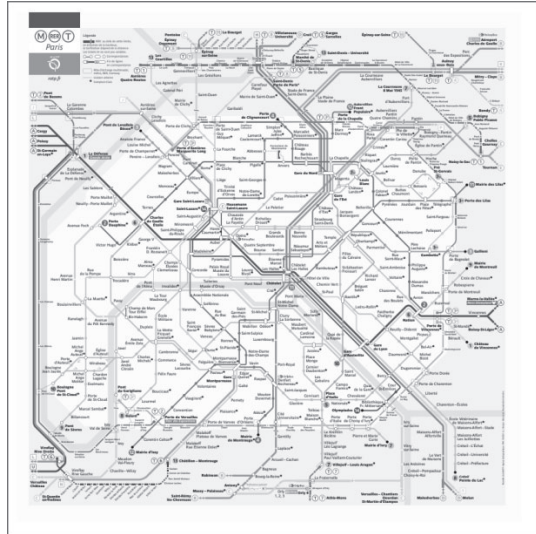


图 1.5 法兰西岛大区轨道交通线路图

（一）地铁

早在 1865 年，巴黎市政府即与西部铁路公司（Chemins de fer de l'Ouest）签订了关于修建内环线铁路的协议，但修建城市地铁线路的计划却一波三折。由于 1900 年万国博览会及第二届夏季奥运会的临近，1895 年，巴黎市政府最终同意修建一条地铁线路，这便是后来的巴黎地铁 1 号线。该线路于 1898 年 11 月动工，在 1900 年 7 月 19 日下午 1:00 正式投入运营。受到客流持续攀升的鼓舞，巴黎市政府加快了地铁修建的步伐，并在 1910 年实现了早期地铁网的通车运营，比原定计划提前了一年多。到 1935 年，共有十余条线路投入运营，巴黎市区地铁网初步成型。此后数十年内巴黎并没有再新建地铁线路，直到 1988 年，由于 1977 年通车的 RER A 线已不堪重负，RATP 遂向政府提议在塞纳河右岸修建一条与 RER A、D 线平行的全自动的新地铁线，即新 14 号线^①。该线首期从玛德莱娜（Madeleine）发车，到弗朗索瓦·密特朗图书馆（Bibliothèque François Mitterrand），该线于 1992 年动工，于 1997 年 6 月开始试运营，于 1997 年 10 月 15 日正式通车。此后该线路在两端分别延长至圣拉扎尔站（Saint-Lazare）和奥运站（Olympiades）。

与早期的地铁系统相似，巴黎地铁的站距普遍较短，最短仅有 465 m，平均站距也仅为 548 m，一方面方便了乘客的出行，但另一方面也增加了列车运行时间，同时也对列车的启动和制动性能提出了更高要求，因此巴黎早在 20 世纪 50 年代即开始着手开展将部分既有线路改造为胶轮地铁的工作，已改造的线路有 1、4、6、11 号线，巴黎地铁线路概况如表 1-2 所示。

巴黎地铁 2 号线民族广场（Nation）终点站如图 1.6 所示，巴黎地铁 14 号线里昂车站（Gare de Lyon）如图 1.7 所示。

^① 在现有的 14 号线之前，上世纪 30 年代曾有一条从荣军院（Invalides）到旺午门（Porte de Vanves）的地铁，当时称为 14 号线，后在 60 年代并入 13 号线。



图 1.6 巴黎地铁 2 号线民族广场 (Nation) 终点站



图 1.7 巴黎地铁 14 号线里昂车站 (Gare de Lyon)

表 1-2 巴黎地铁线路概况

线路	起讫站	开通年份	长度 (地面 线长度) /km	车站 数	车型	每列车 辆数	轨道形式
1	德方斯↔万塞讷城堡	1900 年	16.6 (0.6)	25	MP 05	6	橡胶轮胎钢轨
2	王妃门↔民族广场	1900 年	12.3 (2.2)	25	MF 01	5	钢轮钢轨
3	勒瓦卢瓦—贝孔桥↔加列尼	1904 年	11.7	25	MF 67	5	
3bis	冈贝塔↔丁香门	1921 年	1.3	4	MF 67	3	
4	克利尼昂古门↔红山镇	1908 年	12.1	27	MP 89CC	6	橡胶轮胎钢轨
5	波比尼—帕博罗·毕加索↔意大利广场	1906 年	14.6	22	MF 01	5	钢轮钢轨
6	夏尔·戴高乐—星形广场↔民族广场	1907 年	13.7 (6.1)	28	MP 73	5	橡胶轮胎钢轨
7	新廷—欧洲胜利日↔ 犹太城—路易·阿拉贡/伊芙希镇	1910 年	22.5	38	MF 77	5	钢轮钢轨
7bis	路易·布朗↔佩—圣热尔韦	1911 年	3.1	8	MF 88	3	
8	巴拉德↔湖之角	1913 年	23.4 (4.1)	38	MF 77	5	
9	塞弗尔桥↔蒙特勒伊镇	1922 年	19.6	37	MF 01	5	
10	布洛涅—圣克卢桥↔奥斯特里茨车站	1913 年	11.7	23	MF 67	5	
11	夏特莱↔丁香门	1935 年	6.3	13	MP 59 MP 73	4	橡胶轮胎钢轨

续表

线路	起讫站	开通年份	长度（地面 线长度）/km	车站 数	车型	每列车 辆数	轨道形式
12	人民阵线↔伊希镇	1910年	15.3	29	MF 67	5	钢轮钢轨
13	阿涅尔—热讷维利埃—库尔蒂伊/ 圣德尼—大学↔夏蒂永—红山	1911年	24.3（2.4）	32	MF 77	5	
14	圣拉扎尔↔奥运	1998年	9.2	9	MP 89 CA MP 05	6	橡胶轮胎钢轨

（二）区域快线 RER 及远郊铁路 Transilien

巴黎区域快线及远郊铁路的前身是法国各大铁路公司在 19 世纪于巴黎城门外修建的铁路，包括小环线（La Petite Ceinture）、国玺线（Ligne de Sceaux）等线路。为应对郊区面积不断扩大的局面，早在 20 世纪 20 年代，相关部门便着手拟定区域地铁的实验性计划，但直到 1961 年才开始修建巴黎西北的德方斯（La Défense）与民族广场之间的连接线，这段地下连接线与既有的万塞讷线及西部的线路连接组成现在看到的 RER A 线。万塞讷（Vincennes）以东的线路早在 1969 年就以“区域地铁”（Métro régional）的名称投入运营，而完整的 A 线在 1977 年年底才对公众开放。在 A 线取得巨大成功后，B、C、D 线也逐步以完整的线路投入运营。RER B 线拉普拉斯（Laplace）站如图 1.8 所示。



图 1.8 RER B 线拉普拉斯（Laplace）站

A 线的成功在另一个角度来看无疑加大了其本身的负担。因此除上文所述通过修建地铁新 14 号线缓解巴黎市区客流压力外，E 线的修建也同时被提上了议程。由于施工进度缓慢，原本预计于 1998 年通车的线路押后至 1999 年通车。该线通车时始于巴黎市区的奥斯曼—圣拉扎尔车站（Haussmann Saint-Lazare），终于东部的舍勒—顾尔奈（Chelles-Gournay）及马恩河畔维利耶—普莱西特列韦斯（Villiers-sur-Marne-Le Plessis-Trévisé），后于 2003 年年底延长至图尔南（Tournan）。由于种种原因，原本将 E 线向西延长的计划遭到拖延。由法国国家铁路公司运营的远郊铁路的发展历程与 RER 相仿，其线路大多由 SNCF 的既有线路一脉相承，并一直以郊区线路的名称运营，以巴黎市内六大火车站及巴黎西北的德方斯（La Défense）为始发站。

巴黎区域快线及远郊铁路有着独特的运营模式。由于支线众多，开行的列车不仅有复杂的长短交路之分，还有快慢车之分，SNCF 开发了一个独特的编码系统，并在之后于 RATP 所属区段上也加以推广。该系统将每条线路上方向不同、停站不同的列车班次用四个字母

组成的单词予以命名，部分线路上还会在其后加注两位编号，便于拼读记忆以及辨认行车方向。

RER A 线阿谢尔城（Achères-Ville）站如图 1.9 所示，RER C 线热讷维利埃车站（Gennevilliers）的老式列车信息板如图 1.10 所示，巴黎区域快线 RER 及远郊铁路 Transilien 线路概况表如表 1-3 所示。



图 1.9 RER A 线阿谢尔城（Achères-Ville）站



图 1.10 RER C 线热讷维利埃车站（Gennevilliers）的老式列车信息板

表 1-3 巴黎区域快线 RER 及远郊铁路 Transilien 线路概况表^①

线路	启用年份	车站数	长度/km	运营商	使用车型
A	1969 年	46 (12/34) ^②	108	RATP SNCF	MI 84 MI 2N MI 09
B	1977 年	47 (16/31) ^②	80	RATP	MI 79
				SNCF	MI 84
C	1979 年	84	187	SNCF	Z 5600
					Z 8800
					Z 20500
					Z 20900
D	1987 年	59 ^③	197 ^③		Z 20500 ^④
E	1999 年	22	56		Z 22500
H	1999 年	46	138		Z 50000
					BB 27300+VB 2N
J	1999 年	52	256		Z 50000
K	1999 年	10	61		Z 50000
L	1999 年	40	86		Z 6400
					Z 50000

续表

线路	启用年份	车站数	长度/km	运营商	使用车型
N	1999 年	35	117		BB 7600/BB 27300+VB 2N
					Z 8800
P	1999 年	40	252		BB 67400+RIB/RIO
					Z 20500
					B 82500
					U 25500
R	1999 年	24	164		Z 50000
					Z 5300
					Z 5600
U	1999 年	10	31		Z 20500
				Z 8800	

注：① A~E 线为 RER，H~U 线为 Transilien。

② 括号内数字分子为 RATP 下辖车站数，分母为 SNCF 下辖车站数。

③ D 线线路长度不含位于法兰西岛以外线路的长度。

④ D 线在里昂车站以南的线路偶有采用 Z 5300、Z 5600 列车的情形。

（三）有轨电车

在 1930 年以前，有轨电车一直是巴黎及其近郊的一种重要的交通方式，但由于其本身的问题以及汽车快速发展所带来的竞争，迫于舆论与政治的双重压力，绝大多数的有轨电车线路从 1930 年开始陆续遭到拆除。但此后伴随着道路交通的一些严重问题以及爆发的第一次石油危机令法国政府重新开始审视有轨电车的发展。经过多年的研究讨论，1992 年首条电车线终于在巴黎北部的塞纳-圣德尼省（Seine-Saint-Denis）开工建设，并在同年通车运营。此即有轨电车 1 号线（T1），由 RATP 运营。1993 年，RATP 在原有的皮托至伊希平原线（Ligne de Puteaux à Issy-Plaine）的基础上开始修建有轨电车 2 号线（T2），在 1997 年开通运营，也同样大获成功。此后，有轨电车建设在法兰西岛大区逐步展开。最新开通的线路是有轨电车 11 号线（T11），这条线路是有轨电车北部切向线（Tangentielle Nord）计划中的一部分，该线路第一期在 2017 年 7 月 1 日通车，是法兰西岛大区首条有轨电车快线，全长约 11 km。全线设 7 座车站，连接巴黎北部的塞纳河畔艾比内（Épinay-sur-Seine）、维尔塔讷斯（Villetaneuse）、布尔歇（Le Bourget）等地，平均站距达到 2 150 m，由 SNCF 运营，采用与 4 号线相同的铁路-电车制式（Tram-train）。未来线路将继续向东西两端延伸，预计于 2027 年实现全线通车。

法兰西岛有轨电车 4 号线邦迪（Bondy）站如图 1.11 所示，法兰西岛有轨电车 6 号线如图 1.12 所示。

截至 2019 年年底，法兰西岛有轨电车共有 10 条线路投入运营。法兰西岛有轨电车种类杂乱，采用了四种互不兼容的技术标准（具体见表 1-4）。尽管线路制式各不相同，但整个电车系统还是发挥了相当大的作用。它作为地铁、RER、Transilien 网络的连接与延伸线

路，极大地便利了郊区旅客的出行，同时弥补了 RER、Transilien 网络在郊区路段站距较长的缺点。未来有轨电车将再建 4 条新线，其中 9、10 号线已于 2017 年正式动工兴建，采用目前常见的现代有轨电车制式，预计将在 2020~2021 年开通。12、13 号线将组成法兰西岛电车快线，利用部分既有的重型铁路线，采用和 4 号线相同的铁路—有轨电车制式，12、13 号线预计最快将在 2020 年部分投入使用。



图 1.11 法兰西岛有轨电车 4 号线邦迪 (Bondy) 站

图 1.12 法兰西岛有轨电车 6 号线

表 1-4 法兰西岛大区有轨电车概况表

线路编号	起讫站	启用年份	线路长度/km	车站数	车型	形式	车辆宽度/m	长度/m	定员数	模块数
1	阿涅尔—热讷维利埃—库尔蒂伊↔诺瓦西—塞克	1992 年	17	36	法国标准电车 TFS	部分低地板 钢轮钢轨电车	2.30	29.4	178~252	3
2	贝宗桥↔凡尔赛门	1997 年	17.9	24	阿尔斯通 Citadis 302	完全低地板 钢轮钢轨电车	2.40	32.2	213	5
3a	加利格里阿诺桥↔万塞讷门	2006 年	12.4	25	Citadis 402	完全低地板 钢轮钢轨电车	2.65	43.4	304	7
3b	万塞讷门↔小教堂门	2012 年	9.9	18	Citadis 402	43.4				
4	欧奈丛林↔邦迪	2006 年	7.9	11	U 25500 (西门子 Avanto S70)	铁路-电车 部分低地板		37	242	5
5	圣德尼墟↔加尔什—萨尔塞勒	2013 年	6.6	16	Translohr STE3	完全低地板 橡胶轮胎电车	2.20	25	127	3
6	夏蒂永—蒙图日↔维霍夫莱右岸	2014 年	14	21	Translohr STE6	46		170	6	
7	犹太城—路易·阿拉贡↔埃松门	2013 年	11.2	18	阿尔斯通 Citadis 302	完全低地板 钢轮钢轨电车	2.40	32.7	200	5
8	圣德尼—巴黎门↔维尔塔纳斯—大学/塞纳河畔艾比内	2014 年	8.5	17				32.7		
11	塞纳河畔艾比内↔布尔歇	2017 年	11	7	U 53600 (阿尔斯通 Citadis Dualis)	铁路-电车 完全低地板	2.65	42	250	4

尽管在建设过程中遭遇重重阻力，且建设周期漫长，但总体而言，法兰西岛的轨道交通系统仍然是相当成功的。它大幅减少了整个大区内汽车的使用，缓解了交通拥堵，极大地便利了通勤人员的出行，同时带动了巴黎周边省份的发展。但是，由于部分设施建设时间较早，已经出现了相当程度的老化现象，故障时有发生。同时，在社会治安环境逐渐恶化的情况下，乘车安全问题也应予以高度关注。

三、东京

东京实指“东京都市圈”，包含东京都以及周围的神奈川县、群马县、栃木县、埼玉县、茨城县以及千叶县。东京的轨道交通网是东京都市圈公共交通的重要组成部分，是最主要的交通出行方式。它有高度发达的地铁系统以及市域快速轨道交通系统，主要由地铁、JR（Japan Railway）及各私铁公司经营的市域快速轨道、有轨电车、自动导向系统、单轨组成。在整个东京都市圈内，总共有多达 882 座的铁路车站，每日客流量可达 4 000 万人次，仅新宿站日的客流量即达 342 万人次。线路数量多达 121 条，由 30 家运营商共同运营。东京都市圈轨道交通线网图如图 1.13 所示。



图 1.13 东京都市圈轨道交通线网图

（一）地铁

东京地铁实际上由两家运营商共同负责 13 条线路的运营，分别是东京地下铁株式会社和东京都交通局，其中由东京都交通局运营的线路又称为都营地下铁。东京地下铁 9 条，都营地下铁 4 条，所有线路总长 304.1 km。东京地铁平均每天的客流量超过 800 万人次，但是这仅占整个铁路网日客流量的 22%。

在地铁进入东京以前，东京市区最主要的公共交通方式是于 1903 年开通的有轨电车。但由于经济的高速发展，有轨电车客运能力变得捉襟见肘，时常人满为患，高峰期候车时

间长达一个小时甚至更多，以致有乘客被迫挂在车厢外部，极端拥挤的有轨电车成为人们揶揄的“东京特产”。1914年，日本实业家早川德次赴欧洲考察，对伦敦等地的地铁系统印象深刻，遂立下大志，要在东京修筑地铁。此后经历重重困难，最终在早川德次主导下，东京乃至整个远东地区真正意义上的首条地铁在1927年12月30日建成通车。线路从上野站到浅草站，全长2.2 km，当时由早川德次发起的东京地下铁道株式会社运营，而早川也因此被誉为东京地铁之父。随后在1938年，当时的另一家运营公司——东京高速铁道株式会社开通了该公司的地铁线，从青山六丁目（今表参道）至虎之门，并在1939年延伸至新桥站。但由于两家运营商各自为政，导致了两个新桥站之间的换乘需要出站，最终经过协商，两段线路经过新桥站贯通运营。这两段地铁线现在都是银座线的一部分，而这两家运营公司数年后合并为帝都高速度交通营团，即现在的东京地下铁。由于战争带来的社会动荡，日本一直到1954年才开通新的地铁线路——丸之内线，该线路从池袋到御茶之水，随后相继延伸至淡路町、东京、西银座（今银座）等，最终至新宿。而都营地铁也在1955年诞生，奠定了如今两大运营商运营地铁的格局。

东京地下铁丸之内线新宿站站台如图1.14所示，东京地铁日比谷线中目黑站如图1.15所示。



图 1.14 东京地下铁丸之内线新宿站站台



图 1.15 东京地铁日比谷线中目黑站

自1960年起的40年间，东京地铁迎来大建设时代。与此同时，战后的日本经济快速腾飞，经历了第二次城市化时期，大量人口涌入东京都市圈，住宅也相应延伸至市区以外，

通勤需求增长迅速，日本国电在 1956 年的运输量超过 20 亿人次，最拥挤的一小时拥塞度^①逼近 300%，市郊的私铁稍好一些，但拥挤度仍超过 200%，且逐年增加。此外，私铁公司始终不放弃将线路延伸至山手线内的计划，在此之前并不允许这种做法。有鉴于此，私铁线与地铁线的贯通运营（直通運転）被提上了日程。此后新建设的日比谷线、浅草线、荻漕线均具备了贯通运营的技术条件，同时包括京成电铁等私铁公司也配合两家地铁公司进行改造。1960 年，都营地铁浅草线与京成线开始贯通运营，效果显著。乘客不必在换乘结点换乘，而是直接抵达市中心，缓解了山手线上各站的拥挤状况，与私铁的贯通运营也成了东京地铁的一大特色。东京地铁各线路概况如表 1-5 所示。

表 1-5 东京地铁线路概况表

线路名称	运营商	起讫站	线路长度/km	通车时间	贯通运营线路		
					运营商	贯通区间长度/km	线路
浅草线	都营地下铁	西马込↔押上	18.3	1960 年	京成电铁	64.6	押上线
							本线
							成田空港线
							东成田线
					京滨急行电铁 (京急)	73.4	本线
							空港线
							逗子线
北总铁道	49.9	北总线					
芝山铁道	2.2	芝山铁道线					
日比谷线	东京地下铁	北千住↔中目黑	20.3	1961 年	东武铁道	44.4	伊势崎线
							日光线
银座线	东京地下铁	浅草↔涩谷	14.3	1927 年	无贯通运营		
丸之内线	东京地下铁	池袋↔荻漕	24.2	1954 年			
		中野坂上↔方南町	3.2	1961 年			
东西线	东京地下铁	中野↔西船桥	30.8	1964 年	JR 东日本	15.5	中央线 ^③
							总武线 ^③
					东叶高速铁道	16.2	东叶高速线
三田线	都营地下铁	目黑↔西高岛平 ^①	26.5	1968 年	东京急行电铁 (东急)	11.9	目黑线
南北线	东京地下铁	目黑↔赤羽岩渊 ^①	21.3	1991 年			

① 在日本，拥塞度超过 250%表示“电车每次摇动时身体会随之倾斜，但即便如此手和身体都无法移动”，而 300%则表示“已接近物理极限，会对人体造成危害”。