

第一章 城市轨道交通客运系统概述

【本章导读】

主要内容：城市客运交通系统的构成；城市客运交通结构的主要影响因素；城市客运交通结构模式的选择；城市轨道交通系统的构成及特点；国内外城市轨道交通系统的发展。

教学目标：能够认识城市客运交通系统的组成及特点，能进行城市客运交通系统模式选择，能描述城市轨道交通系统的构成及各种模式的特点，了解国内外城市轨道交通系统的发展。

建议教学方法：采取理论教学，教师课堂讲授和学生课外阅读，并与作业的完成相结合。

第一节 城市客运交通系统

城市轨道交通客运系统是城市客运交通系统的重要组成部分，城市客运交通系统是由多种交通方式构成的，并且不同的交通方式在不同的国家和城市有其限制性和优势，这是由于各个国家和城市的政策、经济发展水平、城市用地规模、交通基础设施、自然条件等存在很大差异。

一、城市客运交通系统结构的构成

城市客运交通系统结构指城市中某一时期各种交通方式在完成城市客运量中各自的份额比重。这种方式构成反映了城市交通需求的特点和不同层次、不同性质对出行的交通服务水平的需求，也在一定程度上反映了国民经济的发展水平。城市居民是城市活动的主体，城市交通的主要功能也就是实现人和物在空间上的移动，而这种空间上的位移必须依靠交通来实现。城市客运交通系统凭借四通八达的运输网络和不同功能、形式的交通工具，把居住区和工作区、市区和郊区联系起来，为发展生产、方便生活、沟通城乡、繁荣经济文化服务，客运交通系统是整个城市正常运转中不可缺少的重要组成部分。城市轨道交通系统框架如图 1-1 所示。

二、城市客运交通结构的主要影响因素

城市客运交通结构受交通政策，经济发展，城市规模，城市用地规模、布局，交通基础

设施，城市自然条件，城市环境容量等因素的影响。

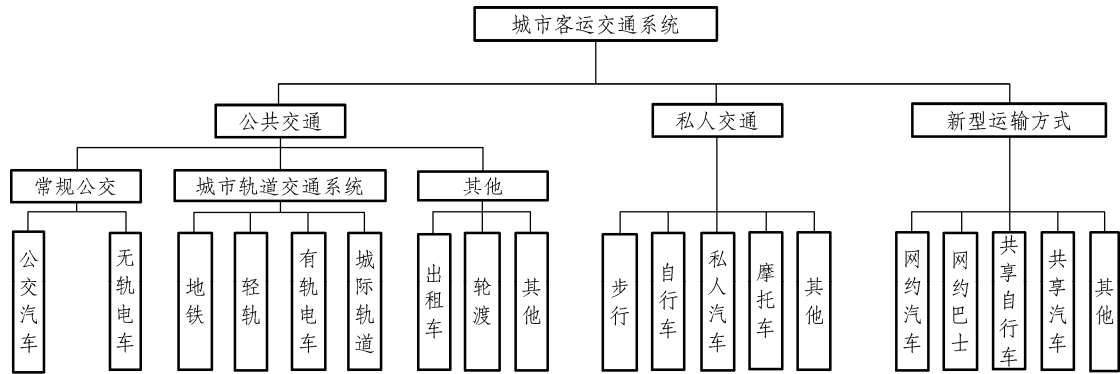


图 1-1 城市轨道交通系统框架

1. 交通政策对城市客运交通结构的影响

通过制订交通政策，对城市客运交通的发展方向、交通结构和控制指标，制订指令性条文或某些规定。

地方政府的政策也对交通结构有很大影响，如地方政府对地铁、快速公交和普通公交等公共交通的鼓励和对私人小汽车的限制。

2. 经济投资对城市客运交通结构的影响

政府或业务部门对某种交通方式的工程建设提供了优惠的投资政策与贷款条件，以鼓励该项目的建设，也可以在贷款或投资方面进行限制，以延缓或限制某种交通方式的发展。如新加坡实行交纳新车购置注册费，有效地控制了私人汽车的增长，从而保证了公交的优先发展。

3. 城市用地规模，布局对城市客运结构的影响

随着城市用地规模扩展，居民平均出行距离增大，必然造成步行比重的减少和乘坐公交比重的增长，这也是现在许多大城市公交规模扩大的原因之一。如 2010 年城市实际居住人口规模 394 万人，城市建设用地规模 365 km²；到 2020 年城市实际居住人口规模 460 万人，城市建设用地规模 458 km²。

用地形态概括起来有单中心团状如北京，天津，广州，西安，郑州，南京；多中心组团式如武汉；多中心带状如重庆；带状轴向式如大连，兰州；星形等多种类型。我国城市多为单中心团状密集布局类型，此类城市中心区的交通量一般占全市总交通量 30%~35%，而多中心或带状式城市中心区的交通总量的比重则相对较低。单中心团状大城市的中心区多为公交线网密集，因人流、车流多而成为交通最复杂，最繁忙的地带。

城市用地功能的划分，对出行量的大小，出行距离长短和空间分布有明显影响。购物中心和就业岗位集中区与居民居住区相距的远近，影响了出行的平均距离，也影响了交通结构。因为工作出行和学生上学要占城市总出行的 80%左右，特别是对早高峰客流的影响巨大，如能在城市功能布局与规划上减少上班、上学的距离，使其出行的分布不要集中到某几条线路上，就可大大减小道路交通的压力，减少公交的负荷，也必将有利于交通结构的合理优化。

4. 交通基础设施对城市客运交通结构的影响

交通基础设施包括道路网络，路网密度，公共交通设施等。交通设施对客运交通结构的影响，主要有两个方面：一方面是城市的基础设施薄弱，道路面积率，人均道路长度，人均拥有公共汽车数量严重不足，使公共汽车线路的网络密度低，覆盖率低，有不少地区或街坊无公共汽车通过。公交站点距出行者出发地点距离较长，公交的服务水平有所下降，使一些人不愿意乘坐公交车以至影响了公交车系统的发展。另一方面是许多古老的大中城市由于城市布局的限制，使得支路较多，汽车难以通行，而想要改变客运交通中自行车过多的问题，就必须大力加强交通基础设施建设，特别是主次干道的修建，为公共汽车或其他大容量运输方式的发展创造一个良好的条件。

5. 城市自然条件对城市客运交通结构的影响

自然条件对城市客运交通结构的影响包括地形，地势，地理起伏，地理环境与气候条件对城市客运交通结构的影响。

6. 城市环境容量对城市客运交通结构的影响

对于城市客运交通而言，其制造的污染占了整个城市交通污染源的绝大部分，因此，对客运交通结构的安排必须考虑到城市环境容量问题，只有在环境容量限制内组织的城市客运交通才是可靠的。城市交通所引发的环境问题主要是大气污染和噪声污染。城市环境可以看做是一个立体的容器，其容量是有限的，当人类生产、生活制造的污染超过了环境的自净能力，就会产生环境报警。

三、我国城市客运交通结构模式的选择

在城市客运交通方式结构中，必然有一种或几种交通方式起主导作用，而另外几种作为辅助方式，配合主导方式共同满足客运需求，这样就会形成不同的城市客运交通方式结构模式。

(一) 国际上的交通方式结构

城市客运交通方式结构模式因城市的不同而千差万别，国内有专家将国际上的交通方式结构概括成六种典型模式。

(1) 以美国和一些经济发达的西欧国家为代表的，以经济发达又地广人稀为特点的城市所采用的“小汽车交通为主体，公共交通辅助”的模式。然而我国城市随着小汽车出行数量的增多，道路负荷也逐渐增加，土地资源被占用的也越来越多，不利于城市的可持续发展。所以该模式不适合现阶段我国的城市去采用。

(2) 以英国伦敦、日本东京为代表的，以经济发展水平高、人口密度大、城市布局紧凑为特点的城市所采用的“轨道交通为主体，常规公交和小汽车交通为辅”的模式。这种交通方式结构是对城市发展最有利的模式，但这必然要求承载这些客运量的轨道交通发展具有一定的规模，如东京的轨道交通系统承担了全部客运量的80%。这一方面与其自身的特点，即市区人数多、人口密度大及集约型土地利用模式相关，另一方面也与其高额的交通投资是分不开的，但其作用亦很明显，很大程度上缓解了其地面交通的压力。这种模式是我国拥有轨道交通的大城市的发展目标。

(3) 人口密度高、又采取大力发展常规公交、限制私人机动车交通政策的城市所采用的“常规公交为主体，轨道交通作为长距离运输骨架”的模式。此模式适合刚刚开始建设地铁且经济实力较高的城市。

(4) 人口密度较高、城市规模大、人们生活水平不高的城市所采用的“自行车、摩托车和常规公交并重”的模式。适合我国的大部分还没有建设地铁的城市。

(5) 采取全方位优先发展大规模、多层次公交网络措施的城市所采用的“快速公交网络为绝对主导，其他方式适当补充”的模式。

(6) 采取步行交通和轨道交通并重发展策略的城市所采用的“轨道交通+步行交通”的模式。这就要求一方面城市需要建设地铁，另一方面地铁设置的站点密度高、且在居民步行半径范围内。

(二) 我国的交通方式结构

结合我国城市发展情况，本书提出几种符合我国城市发展的客运交通方式结构模式。

(1) 模式一：“轨道交通+常规公交、步行和自行车”，以轻轨、地铁或两者兼有的轨道交通作为主要出行方式，以地面公交为辅，以步行和自行车作为短距离出行主体、同时作为换乘轨道交通前的交通方式，合理引导私人小汽车的使用，严格限制摩托车的使用。

(2) 模式二：“常规公交+轨道交通、步行和自行车”，以常规公交为主要出行方式，轨道交通作为中长距离出行的辅助，以步行和自行车作为短距离出行主体、同时作为乘坐轨道交通前的交通方式，控制私人小汽车的使用，严格限制摩托车的使用。

(3) 模式三：“常规公交+自行车和步行”，在没有轨道交通系统的情况下，以常规公交为主体，以步行和自行车作为短距离出行的主体，控制私人小汽车的使用，限制摩托车交通。

(4) 模式四：“常规公交+快速公交、步行和自行车”，以常规公交为主体，以快速公交作为其补充方式，以步行和自行车为短距离出行主体，控制私人小汽车及摩托车的使用。

(5) 模式五：“步行、自行车+常规公交”以步行、自行车为主体，公交为中长距离客运交通的补充方式。

(6) 模式六：“快速公交、常规公交+自行车、步行”以快速公交为骨干、常规公交为主体，以步行和自行车为短距离出行主体，合理引导私人小汽车的使用，限制摩托车的使用。

第二节 城市轨道交通系统

一、城市轨道交通系统概况



拓展阅读：公共交通方式单向客运能力

城市轨道交通系统是指服务于城市旅客运输，通常以电力为动力，轮轨运行方式为特征的车辆或列车与轨道等各种相关设施的总和。或者说，一般将在城市中使用的，在固定轨道上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通。

根据基本技术特征的不同，城市轨道交通可分为：地下铁道、轻轨交通、单轨铁路和有轨电车、市郊铁路、磁悬浮铁路等类型。

1. 地下铁道

地铁是沿着地面铁路系统的形式逐步发展形成的一种用电力牵引的快速、大运量城市轨道交通模式，其线路通常敷设在地下隧道内，有的在城市中心以外，采用从地下转到地面或高架桥上的敷设方式。

2. 轻轨铁路

轻轨铁路的含义是指就车辆对轨道施加的荷载而言，轻轨车辆与地下铁道车辆比较相对较轻。早期的轻轨系统一般是直接对旧式有轨电车系统进行改建而成的。20 世纪年代后期，一些国家才开始修建全新的现代轻轨系统。现代轻轨系统与旧式有轨电车系统相比，具有自动控制、乘坐舒适、动力大、速度快、噪声低等优点。对世界各国轻轨系统进行分类研究表明，轻轨也存在多种技术标准并存发展的情况。高技术标准的轻轨接近于轻型地铁，而低技术标准的轻轨则接近于有轨电车。



视频：单轨列车传奇

3. 单轨交通

单轨交通是一种采用橡胶车轮的车辆跨座或悬挂在高架的轨道梁上运行的交通方式，从构造形式上可分为跨骑式单轨与悬挂式单轨两种，跨骑式单轨是列车跨坐在轨道梁上运行的形式，而悬挂式单轨是列车悬挂在轨道梁下方运行的形式。

4. 有轨电车

有轨电车通常采用地面线，有时也有隔离的专用路基和轨道。隧道或高架区间仅在城市中心交通拥挤的地带采用。

5. 城际轨道（市郊铁路）

城际轨道（市郊铁路）是运行于市区、市郊以及卫星城之间，以地面专用线路为主，为城区及市郊地区或卫星城之间提供铁路客运服务，满足通勤、城市及郊区之间居民往来需要的大运量快速轨道交通系统。

6. 磁悬浮铁路

磁悬浮铁路是根据电磁学原理，利用电磁铁产生的电磁力将列车浮起，并推动列车前进的高速交通工具。由于它运行时悬浮于轨道上，因而没有轮轨的摩擦，突破了轮轨黏着极限

速度的限制，成为人们理想的现代化高速交通工具。目前有多种制式，其主要技术特征的差别在于：导体材料、工作温度、直线电机类型、悬浮方式、驱动方式等。



视频：科技之光 磁悬浮列车

交通是城市的动力系统，是城市发展的生命线。“城市发展，交通先行”，交通运输是人类进行生产和生活的必要手段，是物质与文化流通的基本条件。在运输领域里，包含了多种运输方式，每一种运输方式均有自身的技术特色，以及最适用的范围，如图 1-2 所示。运输市场中多种运输形式共同存在，并不断向着更加理想的形势发展。

城市轨道交通所服务的城市交通是指城市内部的交通，特别指城市中心区域内的交通。城市交通一般分为公共交通和私人交通两种，其中公共交通主要包括传统公交（公共汽车和电车）和城市轨道交通（包括地铁和轻轨），私人交通多指乘坐私人轿车出行。随着城市发展进程的逐步推进，城市人口迅速增加，城市与郊区之间的经济联络日益密切，导致城市出行人口数量逐年上升及出行密度逐年上升。高密度人群加剧了出行在城市中心的积聚效应，使城市内交通承受了沉重压力。沉重的交通压力必然会导致城市道路出现交通拥堵。交通拥堵不仅带来了出行者的时间损失，还会造成能源浪费、环境污染、交通事故等直接或间接的经济损失，使城市运行付出极大的代价，严重影响城市化进程。

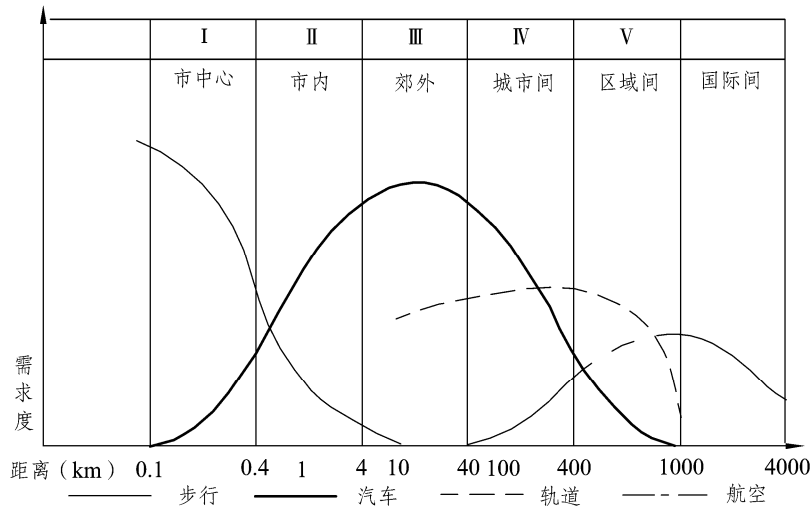


图 1-2 各种运输系统形式运输距离与需求关系图

国外大城市解决交通拥堵的经验告诉我们，城市轨道交通的发展可以大大缓解城市发展过程中交通供需失衡的现象。例如东京、首尔等城市，城市轨道交通在公共交通系统中承担的出行量高达 60%。由于城市轨道交通具备运行平稳、占用地面土地少，以及对城市生活干扰小等特点，发展城市轨道交通已经成为当前乃至今后城市交通发展的主要方向。

二、城市轨道交通系统特点

城市轨道交通系统按照用途可分为城市铁路、市郊铁路、地下铁道、轻轨交通、城市有轨电车、独轨交通、磁悬浮线路、机场联络铁路、新交通系统等。与其他现代交通运输方式相比，城市轨道交通具有大运力、更安全、全天候、低能耗与乘坐舒适等一系列技术经济优势。

1. 大运力

城市轨道交通的运输能力远远高于其他城市公共交通工具。地铁的运输量最大，单向每小时可以运送 4 万至 6 万人次，轻轨可以运送 2 万至 3 万人次，有轨电车的运输量最小，每小时有 1 万人次。而公共电汽车为 2 000 至 5 000 人，小轿车为 1 000 至 2 000 人。

2. 更安全

城市轨道交通零伤亡事故是其他任何现代交通运输方式难以达到的。城市轨道交通采用了先进的列车运行控制系统，几乎与行车有关的固定设施与移动设备都有信息化程度很高的诊断与监测设备，针对一些有可能危及行车安全的自然灾害设有预报预警装置。相比于其他城市公共交通工具而言，城市轨道交通的安全系数最高。

3. 全天候

城市轨道交通运行极其稳定，除可能危及行车安全的自然灾害外，几乎不受天气和气候条件的影响，正点率非常高，且 24 h 内都可正常运行。日本东海道新干线列车平均晚点不到 0.3 min，几乎与钟表一样准。这一点，其他任何一种现代交通运输方式都无法做到。

4. 低能耗

从单位能耗来看，若将城市轨道交通每人每千米消耗的能量作为基准 1，则公共汽车为 1.5，小汽车为 8.8。日本每人千米消耗能源的实际统计是：城市铁路为 136 Cal，小汽车为 765 Cal，飞机为 714 Cal。城市轨道交通单位能耗大约是小汽车和飞机的 1/5。此外，由于城市轨道交通使用的是二次能源，在一次能源相对缺乏的情况下，在能源消耗方面城市轨道交通的优势将会更加突出。

5. 乘坐舒适

城市轨道交通线路平顺，由于采用先进的缓震设备，除非出现极端天气，一般全程都是平稳运输。车厢布置舒适，宽敞的座位、先进的设施、齐全的设备使得乘坐全程都是一种享受。这些是公共汽车无法与之相比的。

三、国外城市轨道交通系统发展

1. 东京圈城市轨道交通系统

东京是日本的首都，是世界级的大城市，是日本政治、经济和文化的中心，其交通服务始终与城市发展紧密相连，逐步走向国际化。以东京为核心，包括附近的千叶、埼玉、神奈川 3 县，构成日本最大的城市圈——“东京圈”。目前，“东京圈”发展到半径达 70 km 的范围，支持“东京圈”居民通勤和商贸往来的轨道交通网络建设采用了放射线与环线结合的方式，

如图 1-3 所示。

东京轨道交通网络最显著的特色之一就是针对每一个区域分别建立不同的模式。为了缩短通勤时间，郊区的私营轨道线路直接与中心区的地铁线路贯通运营，而且轨道系统形成了多层次结构（表 1-1）。长距离出行可以利用更快的轨道线路或快速列车，比如，50~100 km 的出行距离可以选择新干线（高速客车），30~50 km 选择快速列车，距离再短时可选用地铁和独轨交通。

日本东京都地铁共 12 条线，平均每条线长 24.3 km，共设站 274 个，平均站距为 1.1 km，地铁主要修在城市干道下面，集中分布在以东京火车站为中心的 5 km 半径范围内。



图 1-3 东京轨道干线网与城市轨道交通网络示意图

东京首都圈的公共交通每天可运送 4 315 万人次，地铁、城际列车、私营铁路运送人数为 3 658 万人次，达到公共交通总数的 84.8%。东京地铁系统每天向 815 万乘客提供服务，占轨道交通方式的 22.3%，城际轨道线路日运送乘客达 1 456 万人次，占轨道交通方式的 39.8%。

表 1-1 东京城市轨道交通系统结构

轨道类型	站间距	运营速度
新干线	30 ~ 50 km	120 ~ 130 km/h
城际列车（JR） 快速列车（私营）5 ~ 6 km	5 ~ 6 km	50 ~ 60 km/h
普通列车	1 ~ 2 km	40 ~ 45 km/h
地铁	0.5 ~ 1 km	20 ~ 35 km/h
单轨铁路 自动导轨电车	0.5 ~ 1 km	20 ~ 30 km/h

2. 巴黎城市轨道交通系统

法国巴黎大区位于北部法兰西岛，是法国的一个行政区域（法国共有 22 大区），面积

12 012 km²，人口约 1 169 万（2008 年数据）。在全球大都市中，巴黎大区是仅次于纽约和东京的第三大经济区，面积为全国的 2.2%，人口却占全国的 19%，是法国的政治、经济、文化中心。

巴黎大区之所以如此发达，占有如此重要的地位，与其先进、完善的交通系统是密切相关的，而公共交通中的轨道交通又起到了关键作用。巴黎大区轨道交通系统主要有地铁、轻轨、市域快速轨道交通和市郊铁路等不同形式，主要由 16 条地铁线，5 条市区快线，8 条市郊铁路线，3 条有轨电车，1 条铁路有轨电车组成。其中，地铁和轻轨主要服务于主城区内的旅客运输；市域快速轨道交通和市郊铁路有线路里程长、站间距大、列车运行速度快等特点，主要承担巴黎市中心—市郊、市郊—市郊之间的旅客运输。

巴黎是世界上最早建设城市轨道交通的城市之一，发展至今已经拥有纵横交错的 16 条线路，线路总长 214 km，形成了四通八达的地下交通网络。巴黎地铁线路全部由巴黎运输公司负责运营，其线路布局情况详见图 1-4。巴黎地铁每天的客流量超过 600 万人次，年客流量达 12 亿人次。



图 1-4 巴黎城市轨道交通路网

3. 伦敦城市轨道交通系统

英国首都伦敦是国际金融中心城市，其轨道交通系统发展最早，是世界上第一条地铁的诞生地，并已形成了世界规模最大的地铁系统。

伦敦的行政区划分为伦敦城和 32 个市区，伦敦城外围的 12 个市区称为内伦敦，其他 20 个市区称为外伦敦。伦敦城、内伦敦和外伦敦构成大伦敦市，面积为 1 580 km²，其中伦敦城 2.6 km²，内伦敦区 294 km²，外伦敦区 1 259 km²。如果从更大范围计算，伦敦大都市圈包括大伦敦地区和东南英格兰地区的主要城市，面积达 27 000 km²。

伦敦轨道交通线路呈放射状布置，地铁共有 12 条线，总长 415 km。市郊铁路长 3 003 km，日客流量达 300 万人次，2007 年总客流量达 10 亿人次，占伦敦公交总运送人数的 48%。伦敦地铁建设因地制宜，在郊区地段，地铁上地面；在城区某些繁华地段，就变成了高架；地铁和轻轨线与开往英国各地的个火车站和汽车长途站连接和换乘。

4. 纽约城市轨道交通系统

纽约市最主要的公共交通工具是地铁和公交汽车，统一由都市交通局管理。包括纽约市五个区、纽约州 62 个县、新泽西州、康涅狄格州部分地区，面积达 10 360 km²，1 200 万居住人口。在都市交通局统一管理下，形成了以纽约市为中心，辐射长岛、新泽西等大纽约都市轨道交通系统。纽约市地铁系统拥有 26 条线路和 468 个车站，日客运量约 400 万人次，全年客运量达 14.49 亿人次。东部连接纽约市市区与长岛地区的长岛铁路，服务于纽约都市区内城区与郊区间的通勤以及其他活动。作为北美最繁忙的铁路，每个工作日客运量可以达到 28.2 万人次，每日列车班次 728 次，全年旅客人数达 8 000 万人次。都市区至北部地区的铁路是美国第二大通勤铁路系统，全长 618 km，共服务 479.7 万人。

四、我国城市轨道交通系统发展

1. 北京城市轨道交通系统

北京地铁（Beijing Subway）是服务于中国北京市的城市轨道交通系统。其规划始于 1953 年，工程始建于 1965 年，最早的线路竣工于 1969 年，于 1971 年开始运营，是中国的第一个地铁系统。

截至 2016 年 12 月，北京地铁共有 19 条运营线路（包括 18 条地铁线路和 1 条机场快速轨道），组成并覆盖了北京市的 11 个市辖区，拥有 345 座运营车站（换乘车站重复计算，不重复计算的换乘车站则为 288 座车站），总长 574 km 运营线路的轨道交通系统，如图 1-5 所示。

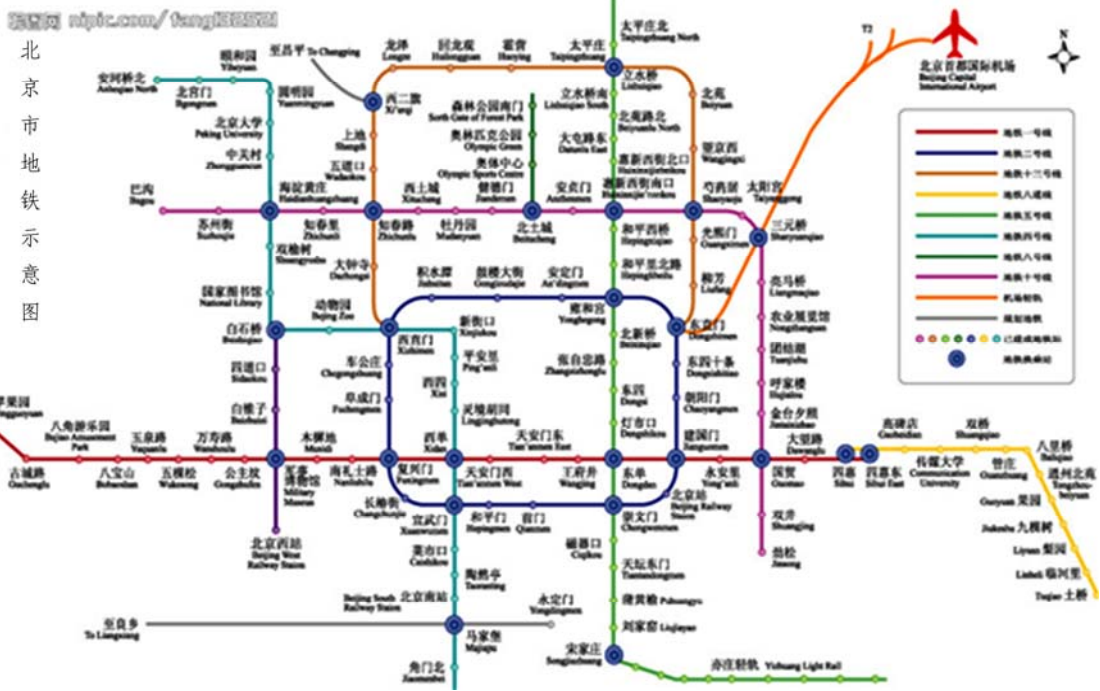


图 1-5 北京地铁线路图

北京地铁工作日的日均客运量在 1 000 万人次左右，2016 年 4 月 29 日，北京地铁创下单日客运量最高值，达到 1 269.43 万人次。

2. 上海城市轨道交通系统

上海轨道交通，又称上海地铁，其第一条线路——上海轨道交通 1 号线于 1993 年 5 月 28 日正式运营，是继北京地铁、天津地铁建成通车后的中国投入运营的第三个城市轨道交通系统。截至 2016 年 12 月，上海轨道交通共开通线路 14 条，全网运营线路总长 617 km，车站 366 座。上海大都市轴向辐射圈层的城市分布图见图 1-6。