

汽车运动学和力学平衡为原则的基本理论，由此而规定出各种等级公路选线所必须遵循的设计车速、视距、最小平曲线半径、最大纵坡和超高等技术指标。但是这个阶段在线形几何方面，是大量依靠实地定线、用土石方平衡原则和最低造价做出在曲率和纵坡上能符合标准的适用的道路的。

到了 20 世纪 50 年代，随着汽车数量激增，以及政治、经济和军事等方面的原因，高速公路应运而生。由于汽车速度大幅度上升，交通量急剧增长，驾驶者动态知识的增加，特别是交通事故次数增多，这就突出地要求道路线形设计应当在最少事故下用合理的造价提供最大的服务能力。人们开始认识到：一条完善的道路，不仅要安全、适用、经济，还要注意美学。选线设计要注意路容优美，环境协调，乘客悦目，驾驶者视觉诱导清晰。从此，选线设计除应当遵循汽车运动力学平衡原则外，还应考虑车辆行驶的安全舒适、驾驶者视觉心理反应、引导驾驶者的视线、保持线形的连续性、注意与周围环境景观相协调。这就进一步丰富和完善了现代公路选线设计的理论和方法。

（三）桥梁的建造

1. 石 桥

秦汉时，我国就建有石板梁桥，并以石柱为桥墩。架设在长安北二里横门外的石柱桥，长三百八十步，用石柱七百五十，用石梁二百二十，计六十八间（跨）。公元 1053—1059 年北宋时，由郡守蔡襄主持建于福建泉州洛阳河上的万安桥（洛阳桥），共 48 孔，全长 540 m，是我国第一座举世闻名的梁式海港巨型石桥，采用尖头的大型桥墩（即所谓“筏型基础”），并利用水生动物牡蛎的硬壳使桥墩条石间联结得更为牢固。这座桥梁使用了 900 多年，是我国古代名桥之一。图 1.4 为万安桥（洛阳桥）。



图 1.4 福建泉州万安桥（又称洛阳桥）

2. 拱 桥

公元 282 年，西晋时建造于洛阳七星涧上的“旅人桥”为单跨半圆形石砌拱桥，它是现有历史记载中世界上最早的石拱桥。公元 605—618 年，隋朝大工程家李春在今河北赵县的洹河上修建了赵州桥（安济桥）（图 1.5），它是当今世界上跨径最大、建造最早的单孔敞肩型石拱桥 [因桥两端肩部各有 2 个小孔，不是实的，故称敞肩型，这是世界造桥史的一个创造（没有

小拱的称为满肩或实肩型)]。桥为单孔石砌拱桥, 桥长 50.82 m, 跨径 37.02 m, 券高 7.23 m, 拱度为 1/5.2; 由 28 道独立石拱并列砌筑, 桥宽 9.6 m; 大拱两端各建 2 个小拱。整座桥梁气势雄伟, 结构玲珑, 构思精巧。赵州桥跨度大而弧形平, 使桥的高度降低, 便利车马行人的通行。拱肩的 4 个小拱, 既减轻了基础的负载, 又节省建筑材料, 并且加大了桥下过水面积, 便利洪水宣泄。桥梁坚固耐久, 迄今完好无恙, 为名胜景点。



图 1.5 河北赵县洨河上的赵州桥(安济桥)

赵州桥设计创新之处有: 采用圆弧拱形式, 改变了大石桥多为半圆形拱的传统。采用敞肩。这是李春对拱肩进行的重大改进, 把以往桥梁建筑中采用的实肩拱改为敞肩拱, 即在大拱两端各设 2 个小拱, 靠近大拱脚的小拱净跨为 3.8 m, 另一拱的净跨为 2.8 m。这种大拱加小拱的敞肩拱具有优异的技术性能: 第一, 可以增加泄洪能力, 减轻洪水季节由于水量增加而产生的洪水对桥的冲击力。第二, 敞肩拱比实肩拱可节省大量土石材料, 减轻桥身的自重。第三, 增加了造型的优美, 4 个小拱均衡对称, 大拱与小拱构成一幅完整的图画, 显得更加轻巧秀丽, 体现建筑和艺术的整体统一。第四, 符合结构力学理论, 敞肩拱式结构在承载时使桥梁处于有利的状况, 可减少主拱圈的变形, 提高了桥梁的承载力和稳定性。采用单孔。我国古代的传统建筑方法, 一般比较长的桥梁往往采用多孔形式, 这样每孔的跨度小、坡度平缓, 便于修建。但是多孔桥也有缺点, 如: 桥墩多, 既不利于舟船航行, 也妨碍洪水宣泄; 桥墩长期受水流冲击、侵蚀, 天长日久容易塌毁。因此, 李春在设计大桥的时候, 采取了单孔长跨的形式, 河心不立桥墩, 使石拱跨径长达 37 m 之多。这是我国桥梁史上的空前创举。

该桥建筑技术创造性体现在以下几方面: 桥址选择比较合理, 使桥基稳固牢靠。砌筑方法新颖, 施工修理方便。在保持大桥稳定性方面采取了许多严密措施。桥台独具特色——低拱脚、浅桥基、短桥台, 是一个既经济又简单实用的桥台。

法国 13 世纪修建的赛雷桥是欧洲最早的拱桥, 形式虽和赵州桥基本相同, 但时间上已晚了 600 多年, 并且早已坍塌, 有名无实了。

3. 悬索桥

在世界上我国最早建成悬索桥, 即公元 465—472 年南朝宋明帝时在云南建成铁链桥(铁索桥), 直到 18 世纪, 西欧各国才将铁用于桥梁结构。五代后唐明宗时(公元 926—933 年), 出

现了多跨的铁链悬索桥。悬索桥是我国劳动人民的智慧创造，也是对世界桥梁工程的伟大贡献。

4. 浮 桥

我国古代（西周至春秋中期）诗歌总集的《诗经》中有“造舟为梁”的记载，“梁”系“用木跨水，则今之桥也”，“舟梁谓浮桥”，可见我国浮桥出现较早。南宋时期，在广东潮州韩江上修建的湘子桥（广济桥），东岸桥长 283.4 m，西岸桥长 137.3 m，中流部分长 97.3 m，在用钢缆连接的 18 只木船上铺木板建成浮桥。此桥独树一帜，为我国名桥之一，也是世界开关活动式桥梁的先导。

（四）航运事业

纵贯我国东部的南北大运河，早在 2 400 多年前的周代，就已经开挖了江苏北部的一段，后由隋朝先后征调两百多万民工开凿而成，北端河北境内一段系元朝最后连通。大运河以洛阳为中心，北到涿郡，南至余杭，全长 4 000 多里，分为永济渠、通济渠、邳沟和江南河四段，连接海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系，沟通冀、鲁、豫、皖、苏、浙六省，经历唐、宋、元、明、清五个朝代，1 000 多年来，对南北经济文化联系起着重要的作用。

在造船和航海上，我国也有着光辉的历史。《汉书》记载，西汉时期中国的使臣就乘船访问过斯里兰卡。《史记》记载汉武帝乘坐的楼船高达十余丈。东汉时已造出世界最早的有舵船。唐代的造船工艺和航海技术已很发达，与日本、印度、阿拉伯半岛的海上交通已很频繁，船队曾远航波斯湾。宋代以泉州为海上贸易中心，商船远航印度、波斯湾，海船也是当时各国最大的。元代大航海家汪大渊 2 次西航，到达波斯湾、红海和非洲的坦桑尼亚。明代郑和 7 次下西洋，最大的“宝船”长 44 丈，宽 18 丈，可容千余人，船队由宝船 62 艘、人员 27 000 余名组成，自 1405—1433 年的 28 年中，遍访亚非 30 余国，远达非洲东岸和红海，是当时世界上规模最大的航海活动。

所有这些卓越成就都是中华民族勤劳智慧的体现，也是对世界交通事业的伟大贡献。但是清朝的封建统治和百年来的半殖民地半封建地位，阻碍了中国生产力的发展，也阻碍了中国交通运输事业的发展。

三、交通运输系统规划

一般说来，系统可以看成是由有相互关联和相互作用的若干部分组合而成的具有特定功能的整体。任何系统都存在三个方面需要研究的内容：实体、属性、活动。

实体：组成系统的具体对象元素。

属性：实体的特性（状态和参数）。

活动：对象随时间推移而发生的状态变化。

（一）交通运输系统的组成

一个国家的交通运输系统一般是国民经济体系中的重要组成部分，它由铁路、公路、航空、

水运和管道五种基本方式，以及仓储公司、旅行社、邮政包裹服务、联运公司和运输承包公司等等多种服务于综合运输运营的运输代理商组成。

交通运输系统根据其服务性质及服务对象不同，大致又可分为城际运输及城市运输两大系统，而城际运输系统又可分为国内运输与国际运输两个子系统。各个子系统分别由各种交通运输方式提供不同的运输服务。

交通运输系统若按系统功能构建划分，一般应包括：

- (1) 城际快速客货运输系统。它以高等级公路、铁路客运专线和民航为依托。
- (2) 重载货物运输系统。它以干线公路、水路和铁路大宗货物运输通道为依托。
- (3) 集装箱运输系统。它以干线公路、水路和铁路干线为依托。
- (4) 油气运输系统。它以管道、水路和铁路为依托。

交通运输系统通常由以下 4 个部分组成：

(1) 基础设施（或称固定设施）。基础设施指交通运输系统的物质部分，如路基、路面、轨道、桥梁、隧道、车站、航道、枢纽、机场等交通设施。

交通运输网络是由节点（枢纽站、港口、机场、车站等）和连线（公路路线、铁路线路、航道等）组成的，因此，交通运输系统中的基础部分即为其网络部分。现代交通运输网络具有立体性，即不再是单一结构，而是五种运输方式相互补充、相互配合、相互竞争的综合运输网络。

(2) 运载工具（或称为移动设施）。运载工具指车辆、船舶、集装箱、飞机、铁路动车组、货车客车等，即交通运输的运输工具部分。

(3) 管理与控制系统。传统的管理与控制系统主要包括车辆管理控制系统与交通流量管理控制系统。车辆管理控制系统主要指技术方面的管理与控制，如道路的几何尺寸设计和导航设备等；交通流量管理控制系统包括交通标志、地面划线、交通信号控制系统、交通流量监测设备、运行规章制度等。近年来，计算机技术和新技术、新方法的飞速发展，交通运输决策支持系统的开发应用，通过信息加工与管理、仿真实验分析、数学模型与智能系统的运行、多样化的输出信息表达形式等方式，为交通运输系统规划与管理提供了必要的技术支持和重要工具。

(4) 交通流。交通流包括物流和客流两部分，即社会经济发展对运输业运送货物和旅客的需求产生的交通流量。交通流的大小和分布主要受到外部环境（如社会经济发展状况、地理条件等）和科学技术水平以及人的交通行为和观念等的影响。

在交通运输系统（图 1.6）中，系统的实体是人（路的使用者、路的管理者、路的维修者）、运载工具（车辆、飞机、船等）、交通环境（气象环境、信息环境、通行条件等），系统的属性是人的驾驶性能、人的管理水平、人的维修技术等以及运载工具的分布状态、特性、能力等，系统的活动则是人、运载工具、路、交通环境的系统协调性。

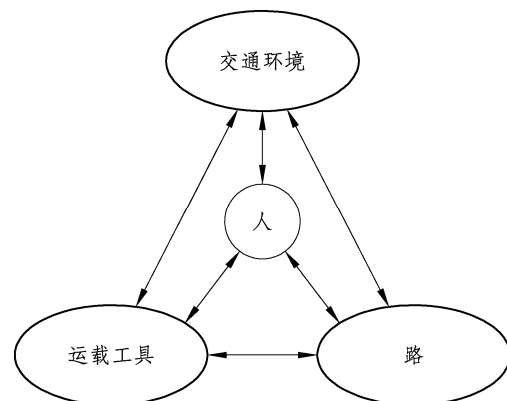


图 1.6 交通运输系统

由于组成交通运输系统的实体之间相互作用而引起的实体属性的变化，通常用“状态”的概念来描述。研究交通运输系统就是研究交通运输系统状态的变化，即系统的演变。

由于交通运输系统是社会经济大系统中的一个重要的、独立的、以为社会提供运输服务为其主要功能的子系统，所以我们就明确了对任何运输问题的研究必须具有系统观念，采用系统分析的方法，即从交通运输系统与其外部环境的相互关系和运输系统内部各元素间的相互关系来研究运输问题。因此，除了研究交通运输系统实体、属性和活动外，还要研究对交通运输系统的活动结果产生影响的外界因素。

（二）交通运输系统的特征

交通运输系统具有以下 4 个主要特征：

（1）目的性。设计和运行某一系统是与实现一定的目的紧密联系的，即实现某些特定功能及系统优化。交通运输系统具有特定的功能，也就带有一定的目的性，各种运输方式正是按此目的性组成综合交通运输系统的。

（2）集合性。交通运输系统的各个组成部分（各种运输方式的运输点和路线等元素或子系统）之间具有一定的独立性，但它们同时按一定方式组合成一个有机整体。

（3）相关性。组成系统的子系统之间相互联系、相互作用，某一子系统的输入则是与之相联系的前一子系统的输出。为使系统正常运行，各子系统之间存在着一定的逻辑关系。构成交通运输系统的全部运输点和路线等是相互联系、相互制约和具有一定规律性的整体。交通运输系统并不等于各种运输方式的简单相加，它是在布局 and 结构组成方面，具有与地区的自然条件、经济条件及功能等相适应的，符合一定规律性和具有高效益的有机整体。系统每新建或改建任意一条线路，均要受到全局因素的制约，又由于区域经济和运输需求随着时间变化和发展，因此交通运输系统建设是一个动态过程。相关性包含着时间与空间两方面的特征。

（4）环境适应性。任何系统都有确定的边界和环境，系统从外部环境接受输入（包括正常输入和随机干扰），经过系统转换，再向外部环境产生输出。由于外部环境是变化的，为了使系统生存、系统优化，必须进行相应调节使之适应环境的变化。交通运输系统是社会、经济、政治、文化的总体组成部分，必须适应于区域国土开发利用和经济发展规划，适应于区域综合运输的条件，适应于交通运输的发展需要。

（三）各种交通运输方式的技术经济特征

各种交通运输方式在满足人或物的空间位移的要求上具有同一性，但各种方式所采用的技术手段、运输工具和组织形式等都不相同，因此，形成的技术性能（速度、重量、连续性、保证货物的完整性和旅客的安全性、舒适性等）、对地理环境的适应程度和经济指标（如能源和材料消耗、投资、运输费用、劳动生产率等）都不尽相同。国内外许多专家对国外各种运输方式发展情况进行分析，得出了各种运输方式的技术经济性能相对优劣次序，参见表 1.1 所示。

各国科技、经济发展水平不同，各种运输方式的技术装备水平也不同，因此在进行技术经济比较时，各种运输方式的实际性能优劣次序可能会与上述表格有所不同，对技术经济比较的项目也可以进行一些增添。

现代交通运输的五种运输方式产生的历史不同，其运输生产过程也有其不同的特点，形成

了各自的适应范围。

表 1.1 各种运输方式技术经济指标相对比较

运输方式	线路基建投资	运具基建投资	运输能力	最高速度	通用性	机动性	运输成本	运输能耗	固定资产效率	劳动生产率	安全性
铁路	6	2	3	2	2	3	4	4	4	4	3
内河	3	4	2	5	3	4	2	2	2	2	4
海运	1	3	1	4	3	5	1	1	1	1	5
公路	4	5	5	3	1	1	5	5	5	5	6
航空	2	6	6	1	4	2	6	6	6	6	2
管道	5	1	4	—	5	6	3	3	3	3	1

注：1. 表中将水运分为内河与海运两种形式，表中数字从小到大表示从优到劣。

2. 根据张之《运输布局学》第 48 页改编。

1. 铁路运输的主要优缺点

(1) 铁路运输的主要优点有：

运行速度快。作为陆上运输方式，铁路列车运行速度快。我国普速旅客列车最高速度可达 160 km/h，高速铁路已达 350 km/h，货物列车为 80~120 km/h。

适应性强。依靠现代科学技术，铁路几乎可以在任何需要的地方修建，可以全年全天候运营，受地理和气候条件的限制很少，具有较高的连续性和可靠性；可货运可客运，可以运送几乎所有的不同性质的货物，通用性很强。

运输能力大。铁路是大宗、通用的运输方式，能够负担大量的客货运输。我国单线铁路单方向最大货物运输能力达到 1 800 万吨，一般复线货物运输能力达到 5 500 万吨，大秦运煤专线设计年运输能力高达 4 亿吨。

运输成本低。一般来讲，铁路成本比河运和海运成本高一些，但比公路运输与航空运输低得多。我国铁路运输成本分别为公路汽车运输和航空运输的 1/20 和 1/128，在美国则相应为 1/7 和 1/18，铁路能耗也很低。

环境污染小。工业发达国家的社会及经济与自然环境之间的平衡受到了严重破坏，运输业对此起了很大的作用。铁路运输对环境和生态的影响与公路汽车和飞机相比较小，特别是电气化铁路影响更小。

(2) 铁路运输的主要缺点有：

修建铁路需要大量的资金和金属。据统计，目前我国常规铁路每 1 km 需要投资 1 000 万~2 000 万元，消耗 120~150 t 重的钢轨、零部件等金属，高速铁路每 1 km 需要投资 1.2 亿~1.7 亿元。

铁路短途运输平均成本高。因为在单位运输成本中，始发和终到作业所占的比重，与运输距离成反比，所以 50 km 以下的短途运输成本，铁路运输要比公路汽车运输高。

铁路运输受轨道限制，必须有其他方式支持。

(3) 铁路运输的适用范围一般为：

由铁路上述优缺点，可以引申出铁路运输的一般适用范围。在国土辽阔的大陆国家，铁路比其他方式更具有吸引力，高速铁路在国土面积小的国家，也有较强的优势。从货物品种来说，

大宗货物如煤炭、粮食、矿石、建材等比较适合于铁路运输。铁路也适合中、长距离的一般货物运输。在石油等能源比较缺乏的地区，铁路运输是一种比较好的方式。由于铁路运输的基建投资比较大，一般全年货运量达到 100 万吨时，修建铁路才具有经济意义。另外，发展中国家的铁路运输适用范围比工业发达国家铁路适用范围可能更为宽广，在研究和评估铁路适用范围时，一定要结合本地区的实际情况进行，而不能拘泥于铁路的一般性质。

2. 公路运输的主要优缺点

公路运输是由公路和汽车两部分组成的。公路又称道路，道路在古代就已经存在，随着汽车的发明使用，专供汽车行驶的道路改称为公路。从 20 世纪 30 年代起，随着经济不断发展，公路运输所具有的优势逐步得到发挥，逐渐成为一种独立的运输形式。公路运输距离也不断上升，技术经济指标不断得到改善和提高，发达的工业国家在客运方面公路运输开始占据首位。随后许多工业发达国家开始修建高标准的干线公路作为国家路网骨架。汽车工业也逐步形成了比较完整的体系，汽车制造业水平几乎也是各国经济发展水平的标志。

新中国成立以来，我国的公路建设获得了较大的发展，在全国范围内建成了干支相连四通八达的公路网。截止到 2018 年年末，全国公路总里程 484.65 万千米，公路密度 50.48 千米/百平方千米，高速公路里程 14.26 万千米。我国公路技术等级也有了很大提高，已经建成大量高速公路和高等级公路并仍在继续建设，汽车工业也在迅速发展之中。随着我国社会经济的不断发展，社会对灵活性、方便性等运输质量的要求不断提高，为我国公路运输发展提供了良好的条件，在将来一定时期内，汽车工业以及公路建设方面必将得到迅速发展。

(1) 公路运输的主要优点为：

机动灵活。公路汽车运输可进行直达运输，减少中间作业环节，在时间上有较大的机动性；对客运量、货运量具有较强的适应性。汽车还可以作为其他运输方式的辅助工具。

送达速度快。汽车运输灵活方便，可以实现门到门的直达运输，因而，在中短途运输中送达速度较快。送达速度快可以加快资金的周转，提高客货的时间价值。

修建比较容易，原始投资少，资金周转快，回收期短。相同长度和能力的公路与铁路相比，公路的造价为铁路的 $1/4 \sim 1/3$ ，工期为 $1/3 \sim 1/2$ ，投资回收期为 $1/4 \sim 1/3$ ，且汽车车辆购置费较低。

与其他运输方式相比，技术改造容易。

(2) 公路运输的主要缺点有：

运载量小，能耗大。单车的平均运载量，在我国平均为每人 4.6 t，在公路运输最发达的美国也只有 12 t，与铁路、水运等无法相比；公路运输能耗也比较大，在我国相当于铁路的 10 倍以上，美国相当于铁路运输的 5 倍以上。

运输成本高，劳动生产率低。公路汽车运输途中消耗燃料多，折旧费高，公路运输所耗用的人力多，中长途公路运输的成本高，劳动生产率低。

安全性、舒适性低。与其他运输方式相比，公路运输安全性、舒适性较差，对环境的污染也比较严重。

(3) 公路运输的适用范围为：

自 20 世纪 60 年代以来，各种交通运输方式进入了综合发展阶段。石油的大量开采及汽车工业的发展，公路运输得到了发展。各国公路运输的适用范围与各国技术经济发展水平、经济结构、自然条件以及居民消费水平有着密切的关系。一般而言，公路运输在鲜活物品、高值轻

质物品中和其他短途运输中,效果突出。公路运输适合于补充和衔接其他运输方式,担负铁路、水运达不到的区域以及铁路和水运起终点的集疏运输。在没有铁路和水运的区域或基于国际政治、经济的需要,公路运输也可以承担长距离的干线运输。另外,各国在发展综合运输体系的时候,都十分重视公路网发展对社会进步、国家的经济增长、国土开发及人民生活水平的提高等方面的重大作用。

3. 水路运输的主要优缺点

水路运输是由港口、航道和船舶三部分组成的,包括内河运输、远洋运输和沿海运输。水路运输是古老的运输方式,在人类发展的历史中,起过十分重要的作用。随着社会经济的发展,各种先进技术先后用于造船行业,船舶的技术性能有了极大的提高。

(1) 水路运输的主要优点有:

运输能力大。海上运输利用的是天然航道,通过能力几乎不受任何限制。海上轮船的装载量也十分巨大,世界上最大的石油船装载量达 55 万吨,整装箱船已达 7 万吨,巨型客轮已达 8 万吨。在内河运输中,美国最大顶推船队运载能力超过 5 万~6 万吨,我国大型顶推船队的运载能力也已达到 3 万吨,相当于铁路列车的 10 倍。运输条件良好的内河航道,通过能力也几乎不受限制。

投资省。水路运输利用天然航道,投资较省。海上运输航道的开发几乎不需要支付费用。内河虽然有时要花费一定的开支疏通河道,但比修建铁路的费用小得多,据估计,开发内河航道每千米投资仅为铁路旧线改造的 1/5,或新线建设的 1/8。而且,航道的建设还可以与兴修水利和电站结合起来。

运输成本低。虽然水运的站场费用极高,但由于船舶的载运能力大,运输距离比较远,路途费用低,所以总的来说运输成本低。美国内河航运的运输成本为铁路运输的 1/5~1/4,海运成本只及铁路运输的 1/8。我国长江干线运输成本为铁路运输的 84%。

劳动生产率高。船舶的载运能力大,所需要的劳动力与载运量并不成比例增加,所以劳动生产率相对较高。

(2) 水路运输的主要缺点有:

适应性差。内河运输受自然条件的限制很大,在无水系或水利资源不好的地方无法进行,不具有普遍性。有些河道通航质量不好,季节性缺水或冬季封冻,无法保证全年通航。有些航道的走向和经济要求方向不一致,不好利用。海洋运输也受到港湾的水深、风浪等气候和水文条件的限制。

速度慢。轮船在水中行驶,阻力较大,速度提高比较困难。海运船舶行驶速度一般为 25~27 km/h,内河则更慢些,所以水运是几种运输方式中速度较慢的一种。

(3) 水路运输的适用范围为:

水路运输利用天然河道,占地少、运量大、投资省、运输成本低,因而适用于大宗货物长途运输,在运输长、大、重件货物时,与铁路、公路相比具有明显的优点。海洋运输是实现国际贸易和各国友好往来的主要运输方式。

4. 航空运输的主要优缺点

航空运输是 20 世纪发展起来的一种运输方式,在工业发达国家中已成为一种主体运输方式。航空运输的运输工具是飞机。航空运输部门主要由航务(飞机)部门、机务维修部门、营

运部门三个部分组成。航空运输是高科技发展的结晶，各国都比较重视。航空运输自诞生以来发展极为迅速，其发展水平反映着一个国家科技发展水平和国民经济发展水平。我国幅员辽阔，资源丰富，人口众多，航空需求逐步增大，航空运输业发展前景非常广阔。

(1) 航空运输的主要优势为：

速度快。与其他运输方式相比，速度快是航空运输的最明显的特征，在非常注重时间价值的现代社会，快速是其他方式无法比拟的特殊优势。现代的喷气式飞机时速一般在 900 km 左右，比火车快 5~10 倍，比海船快 20~25 倍，公路运输和内河运输更无法与之相比。

机动性大。飞机不受地理条件的限制，可以飞越山川河流，可以将任何两个地点沟通。对于保卫国家安全、抗险救灾和处理突发事件等来说，其他方式无法替代。

安全、舒适。随着科技的发展，各种最先进的科学技术都广泛地用于飞机的设计和制造业，飞行安全性不断得到提高，据国际民航组织统计，目前民航旅客死亡率是各种交通运输方式中最低的。现代客运飞机机内空气新鲜，视听设备齐全，飞行平稳，机内餐饮供应及服务质量不断提高，旅客旅行舒适。

(2) 航空运输的主要缺点有：

运载量小，运输成本高。飞机的特点是高速、机动性强，载重、载客量小，技术要求高。目前大型飞机只能载客 400 多人，在飞行中需要的燃料及其他费用多。因而，航空的运输成本高。我国航空运输成本相当于铁路的 100 倍、公路运输的 10 倍左右。

噪声污染严重。飞机在起飞降落时发出的噪声污染严重，远远超出人们可以承受的范围。

速度快的优点在短途运输中难以发挥。

(3) 航空运输的适用范围为：

航空运输适合于长途客运，以及时间性强的鲜活易腐和价值高昂的贵重物品、精密仪器和报刊邮件的中长途运输，适用于特殊目的的运输任务。同时，航空技术水平也是一个国家经济技术实力的象征，发展航空运输不能只从运输本身的角度考虑。随着运输成本降低和经营管理水平的改善以及人民生活水平的提高，航空运输的使用范围也将进一步扩大。

5. 管道运输的主要优缺点

管道运输是使用管道输送流体货物或气体的一种运输方式。管道运输随着石油工业发展而兴起，并随着石油、天然气的开发、加工以及用户的需求而逐渐发展。管道把石油、天然气等资源的开采地与加工场地及用户等联结起来，管道在地下，受到的各种干扰少，输送安全，是流体能源运输的重要方式。

(1) 管道运输的主要优点有：

运量大。管道可以连续不断地输送，输送能力大。一条管径 1.2 m 的原油管道年输送量可达 1 亿吨。

占地少，不受气候的影响。管道除了泵站和首尾站占用土地外，其余管道埋于地下，占用土地少，而且可以在山、河和其他建筑物下通过，不受气候等的影响，很少产生噪声污染和漏油污染等，安全性较高。

节约劳力和能源。管道运输高度的机械化和自动化，在运输途中所需劳力很少，可以大大提高劳动生产率。管道运输中所消耗的能源也较少。

投资省、工期短、成本低。在我国，修建 1 km 的管道造价是 100 万 ~ 500 万元，为同样运输能力的铁路造价的 $1/3 \sim 1/2$ ，运输成本为铁路运输的 70%；而在日本相应为铁路的 $1/6 \sim 1/2$ 和 60%。

(2) 管道运输的主要缺点有：

管道运输是专用运输，主要缺点是适应性差。管道运输只能输送液态或气态物质，不能运送旅客或其他货物，输送的品类单一，适合于长期定向、定点运输，合理运量范围窄。当输送量变换幅度过大时，管道的优越性难以发挥，只有稳定运量达到一定值时经济上才合理。一旦原油干枯，管道即将报废。

(3) 管道运输的适用范围为：

从管道运输的特点来看，管道运输适合于运量大、稳定的液体和气体运输，是一种专用运输，不能运输旅客或其他货物。目前，世界上的管道运输主要用于输送石油和天然气。

上述各种运输方式的比较优势及局限性，在不同的历史时期和不同的自然、经济环境下不是一成不变的。各种运输方式都是随着生产技术和经济社会发展而出现的，并随着科学技术的不断进步、社会经济和运输条件以及运输组织工作不断改进而发展变化的。

各种运输方式在整个交通运输业中占有什么样的地位，哪种运输方式占有主导地位是和历史发展时期以及各国的社会制度、政治和历史状况、自然地理条件、经济和技术发展水平，以及经济结构和运输方式本身的技术经济特点密切相联的。

人们对交通运输的要求是安全、迅速、经济、便利。综上所述可见：

首先是送达速度。技术速度决定运载工具在途运行的时间，而送达速度除在运行时间外，还包括途中的停留时间和始发、终到两端的作业时间。对旅客和收、发货人而言，送达时间具有实际的意义。铁路的送达速度一般高于水上运输和公路运输，但在短途运输方面，其送达速度反而低于公路运输。航空运输在速度上虽然占有极大的优势，但将旅客前往机场的路程时间考虑在内，方有实际意义的比较。

在评价某种运输方式的速度指标时，还应适当考虑运输的频率（或间隔时间）和运输经常性对送达速度的影响。

各种运输方式各有其适用的速度范围（或称服务的速度范围）。旅客运输速度链将各种交通运输方式的最优速度范围（旅客运输速度）以链的形式连贯起来，一般认为公路运输的最优速度为 $50 \sim 100 \text{ km/h}$ ，铁路运输为 $100 \sim 300 \text{ km/h}$ ，航空运输则为 $500 \sim 1000 \text{ km/h}$ ，并对“速度链”中的空白段（ $300 \sim 500 \text{ km/h}$ ）以新型的交通运输工具填补（例如高速铁路、磁悬浮列车等）。

其次是投资。各种运输方式由于其技术设备的构成不同，不但投资总额大小各异，而且投资期限和初期投资金额也有相当大的差别。例如，铁路技术设备（线路、机车车辆、车站等）需要投入大量的人力物力，投资额大而且工期长。相对而言，水上运输是利用天然航道进行的，其设备的投资远较铁路为低，投资主要集中在船舶、码头。比较各种运输方式的投资水平，还需要考虑运输密度和运载工具利用率等因素。

再次是运输成本。一般来说，水运及管道运输成本最低，然后依次为铁路和公路运输，航空运输成本最高。但是各种运输方式的成本水平是受各种各样因素影响的。例如与运量有关的固定费用，如果在运输成本中所占的比重较大，则成本水平受运输密度的影响也较大，在这方面铁路运输最为显著。又如运输距离对运输成本也有很大的影响，这是因为终端作业成本（始发和终到）的比重随着运输距离的增加而下降，通常对水运的影响最大，铁路次之，公路最小。

再如运载工具的载重对运输成本亦有相当的影响，载重量较大的运输工具一般来说其运输成本较低。水运在运输成本方面居于有利的地位。

此外，还应从能源、运输能力、运输的经常性和机动性等方面考察各种运输方式的特性。例如：从能源的角度来看，铁路运输由于可以采用电力牵引，在这个方面就占有优势；从运输能力的角度来看，水运和铁路都处于优势的地位；从运输的经常性的角度来看，铁路运输受季节和气候的影响最小；而就运输的机动性而言，则公路运输最好。

当前，我国五种运输方式的主要技术特征见表 1.2。

表 1.2 我国五种运输方式的主要特征

运输方式	最高速度 / (km/h)	最大运输能力 / (万吨/a)	通用性	机动性
铁路	客车 80 ~ 160、货车 80 ~ 100	单线 1 800、双线 5 500	较好	较差
海运	海船 25 ~ 27	航线能力不受限制	较好	差
河运	客船 13 ~ 15、货船 8 ~ 10	船闸单线 2 000、双线 4 000	较好	差
公路	客车 120、货车 100	4 车道 300 ~ 500	较好	好
民航	波音 747 : 907 A310 ~ 300 : 850	波音 747 : 291 座 A310 ~ 300 : 218 座	较差	较好
管道		管径 762 mm 输油 2 000 管径 564 mm 输油 1 000	差	差

铁路、水运、公路、民航和管道等五种现代化的运输方式，各有不同的技术经济性能和使用范围。随着科学技术的进步、社会运输需要的变化，各种运输方式的技术装备不断更新，其技术经济性能和使用范围也在不断变化。充分发挥各种运输方式的优势，就可以最大限度地节省运输建设投资和运输费用。同时，旅客的始发地和终到地，货物的生产地与消费地遍布全国，客、货运输的全过程往往要由几种运输方式共同完成。这就要求从货物的生产地到消费地，旅客的始发地至终到地，按运输生产过程内在规律的要求建设运输线路，在一个地区和全国范围内需要形成各种运输方式相衔接、协调配合的综合交通运输网。

(四) 交通运输系统规划

交通运输系统规划过程是一个复杂的过程，进行交通运输规划不仅要考虑交通运输系统本身状况，而且还应将交通运输系统置于社会经济这一大系统中加以考察。其中环境因素分析是一项重要工作。这里的环境因素包括：交通运输相关行业的发展水平、经济发展水平与产业结构的变化、自然地理条件、人的交通观念等。这些因素对于交通需求、交通方式的选择具有决定性的意义。交通运输系统规划除了进行交通运输网络（包括公路网、铁路网、航空网、管道网等）等运网规划外，还要进行流量实体、控制系统等部分的规划。

交通运输网络规划就是要确定交通运输网络的发展目标，以及设计达到该目标的过程。换言之，就是研究“建立一个怎样的交通运输网络”以及“如何建立这样的交通运输网络”的问题。因此，交通运输网络规划的基本内容包括 4 个组成部分：

(1) 交通运输网络发展规划。交通运输网络发展规划主要是提出发展的依据。这部分是整个规划的基础，通过对规划地区社会经济发展及交通运输的供需分析，确定交通运输网络发展的方向、性质、规模，即要明确“建立一个怎样的交通运输网络”。

(2) 交通运输网络布局规划。交通运输网络布局规划主要研究各种运输方式的网络空间分布。这部分是交通运输网络总体规划的核心部分，通过对规划地区的自然、经济条件分析与交通流分析，确定运输网络的布局 and 结构。

(3) 交通运输网络工程规划。交通运输网络工程规划主要研究交通运输网络各专项工程的规划。这部分是交通运输网络总体规划的重要组成部分，也是运输网络建设投资的重要依据。

(4) 完成规划方案所需的外部条件。这些外部条件包括配套的政策、规定、调控措施以及筹资方案等，即设计和运行某一系统是与其实现一定的目的紧密联系的，即实现某些特定功能及系统优化。

第(2)、(3)、(4)部分分别从布局、工程、环境三方面阐述“如何建立这样的交通运输网络”。

四、铁路运输基础知识

(一) 铁路运输的性质与特点

1. 铁路运输的性质

铁路运输部门是一个独立的特殊的物质生产部门，其设施是发展国民经济、提高人民物质文化生活水平的重要基础设施。

铁路运输具有物质生产的三个要素：车、机、工、电各部门运输职工的劳动，线路、机车、车辆、通信、信号等劳动资料，作为劳动对象的人或物（旅客或货物）。铁路运输使旅客与货物的场所发生预定的变化，从而具有使用价值。运送旅客满足了人们旅行的需要，运送货物是生产性质的价值增值过程，也是生产过程在流通领域的继续。所以铁路运输是一个独立的物质生产部门。

铁路运输生产的三要素中，人的劳动和劳动资料虽然由铁路支配，但劳动对象即运送的旅客和货物，铁路只是提供服务而不能自由支配，所以铁路运输虽然是一个物质生产部门，但还具有服务的功能。服务功能决定了铁路运输在各种运输方式的协作配合、合理分工的条件下，要能安全、舒适、快捷地满足运输需求，以适应国民经济的发展。

在社会主义市场经济前提下，铁路还具有企业性质，必须重视投入产出问题，建立竞争机制，讲究经济效益，以保证铁路的生存和发展。

2. 铁路运输的特点

铁路运输这个物质生产部门，其生产过程中劳动对象发生变化的情况和其他物质生产部门不同。机械制造业的生产过程是物质形态的改变，属于物理变化。化学工业的生产过程是物质性质的改变，属于化学变化。而铁路运输的生产过程，则不改变物质的形态或性质，只是改变旅客和货物的场所，属于空间变化，其产品是人和物的位移，用人公里和吨公里来衡量铁路运

输的生产量。

工农业生产的产品既可以储存,又可以调拨。而以人公里和吨公里表示的铁路运输生产量,则是在运输生产过程中完成的,它不能作为独立的物体存在于运输过程之外,只能在运输过程中被同时消费掉。所以,铁路运输的产品是不能在运输过程以外进行储存和调拨的。因之在国民经济发展的总体规划中,铁路建设应当适度超前,避免铁路成为制约因素和瓶颈产业,以保证国民经济持续稳定地发展;同时,在一条铁路的规划设计中,也需要使其能力具有一定储备,以适应铁路经行地区工农业迅猛增长的运输需求。

(二) 铁路运输的生产量

1. 周转量

(1) 旅客周转量。铁路运送旅客的生产量是用人公里衡量的,称为旅客周转量。

$$\text{旅客周转量} = \sum (\text{旅客人数} \times \text{旅行距离的公里数})$$

(2) 货物周转量。铁路运送货物的生产量是用吨公里来衡量的,称为货物周转量。

$$\text{货物周转量} = \sum (\text{货物吨数} \times \text{货运距离的公里数})$$

为了统计铁路客货运输的综合生产量,习惯上将每一“人公里”的旅客周转量折算为一个“吨公里”的换算周转量。这样,就可以将旅客周转量和货物周转量直接相加,称为客货周转量或换算周转量,单位为“换算吨公里”。换算周转量可以综合体现铁路完成客货综合生产量的大小。

2. 运输密度

(1) 客运密度。每个国家平均每公里铁路每年运送的旅客人数称为客运密度。

(2) 货运密度。平均每公里铁路每年运送的货物吨数称为货运密度。

(3) 运输密度。平均每公里铁路每年完成的换算吨数称为运输密度。运输密度是衡量铁路运输效能最重要的指标。

1949年,全国铁路完成的旅客周转量为130.01亿人公里,货物周转量为184.00亿吨公里,换算周转量为314.01亿换算吨公里。当时的铁路营业里程为21810km,客运密度仅59.6万人,货运密度仅84.4万吨,运输密度仅144.0万换算吨。 “十一五”计划第一年年末的2006年,铁路(本书所说的“铁路”,除特别注明的外,仅指大陆的国有铁路,暂未包括台湾地区与港九地区的铁路,也不包括地方铁路与专用线等)旅客周转量为6622.12亿人公里,货物周转量为21954.41亿吨公里,换算周转量为28576.52亿换算吨公里,为1949年的83.7倍。2006年铁路营业里程为7.5万公里;客运密度的859万人/km,货运密度为2848万吨公里/km,分别为1949年的14.4倍、33.7倍;运输密度达3707万换算吨公里/km,为1949年的25.7倍,也就是说每公里铁路的生产量2006年为1949年的25倍多,2006年每公里铁路每年完成的生产量约等于新中国成立初期25km铁路完成的生产量。表1.3是2002—2006年我国铁路运输业绩统计表。

2016年,全国铁路营业里程达12.4万公里,全年完成旅客发送量28.14亿人,旅客周转量12579.29亿人公里,其中国家铁路旅客发送量27.73亿人,旅客周转量12527.88亿人公里。

2016年，全国铁路完成货运总发送量 33.32 亿吨，货运总周转量 23 792.26 亿吨公里，其中国家铁路完成货运总发送量 26.52 亿吨，下降 2.3%，货运总周转量 21 273.21 亿吨公里。2016 年与 2006 年比较，见表 1.4 所示。

表 1.3 2002—2006 年全国铁路运输业绩统计

项 目	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	增长率/%
旅客发送量/亿人	10.56	9.73	11.18	11.56	12.57	19.0
旅客周转量/亿人公里	4 969.38	4 788.61	5 712.17	6 061.96	6 622.12	33.3
货物发送量/亿吨	20.50	22.42	24.90	26.93	28.82	40.6
货物周转量/亿吨公里	15 658.42	17 246.65	19 288.77	20 726.03	21 954.41	40.2
总换算周转量/亿换算吨公里	20 627.80	22 035.26	25 000.94	26 787.99	28 576.52	38.5
日均装车量/万车	9.6	10.5	11.4	12.2	12.9	34.3
客运密度 / (万人公里/km)	691				859	24.3
货运密度 / (万吨公里/km)	2 178				2 848	30.8
运输密度 / (万换算吨公里/km)	2 869				3 707	29.2

资料来源：铁道部统计中心。

表 1.4 2006—2016 年全国国家铁路运输业绩比较

项 目	2006 年	2016 年	增长率/%
旅客发送量/亿人	12.57	27.73	120.6
旅客周转量/亿人公里	6 622.12	12527.88	89.2
货物发送量/亿吨	28.82	26.52	- 8.0
货物周转量/亿吨公里	21 954.41	21 273.21	- 3.1
总换算周转量/亿换算吨公里	28 576.52	33 801.09	18.3
客运密度 / (万人公里/km)	859	1010.3	17.6
货运密度 / (万吨公里/km)	2 848	1715.6	- 39.8
运输密度 / (万换算吨公里/km)	3 707	2725.9	- 26.5

资料来源：铁道部统计中心，我国铁路营业里程 2006 年按 7.7 万公里计算，2016 年按 12.4 万公里计算。

铁路运输密度大，表示铁路设施利用率高，效能好；运输密度小，表示铁路设施利用率低，效能低。一个国家铁路运输密度的高低，主要影响因素有：

(1) 铁路设备的先进程度。如：牵引种类（电力、内燃或蒸汽牵引）和机车类型，机车牵引力大，可使每列车的牵引质量增加；通信信号设备先进，可使铁路行车量增大；而车辆结构先进，则可多载客、货，增加铁路的生产量。

(2) 铁路线路状况。铁路网的复线率是指路网中复线里程占营业里程的百分数。复线率高，则行车量大，铁路生产量提高。此外铁路轨距宽窄、线路坡度大小、车站距离远近等，都会影响铁路生产量。

(3) 铁路客货流量大小。铁路设备和线路状况决定铁路所具有的运输能力，而客货流量大

小，即有多少旅客乘车，有多少货物可运，则决定铁路实际完成的生产量。

我国铁路虽然设备比较落后，路网的复线率和电气化率都比较低。但是在党的领导下，铁路员工的积极性得到充分发挥，铁路设施的潜力能够充分利用，铁路运力有了极大的提高；同时国民经济发展迅速，铁路的货源充足、旅客众多，所以铁路运输密度还是很高的。我国铁路以占世界铁路 6% 的里程完成了世界铁路 25% 的工作量（图 1.7）。2006 年，我国铁路创造了 4 个世界第一（图 1.8）：旅客周转量、货物发送量、运输密度、换算周转量均居世界第一位。2006 年年底，中国铁路营业里程为 7.7 万公里，位居世界第三。其中国家铁路 6.34 万公里，合资铁路 0.89 万公里，地方铁路 0.47 万公里，全国铁路总延展里程达 15.46 万公里。复线里程 2.64 万公里，复线率 34.3%；电气化里程 2.44 万公里，电气化率 31.7%。2006 年我国铁路完成旅客周转量 6 622 亿人公里，比第二位的印度高出近 900 亿人公里，是美国、俄罗斯两国总和的 3.8 倍；完成 28.7 亿吨，比第二位的美国多运近 10 亿吨，是俄罗斯的 2 倍多；运输密度达到 3 707 万吨公里/km，是第二位俄罗斯的 1.6 倍多，是美国的 3.7 倍；完成的换算周转量 28 576 亿吨公里/km，比第二位的美国高出 1 300 亿吨公里/km，是俄罗斯的 1.5 倍。

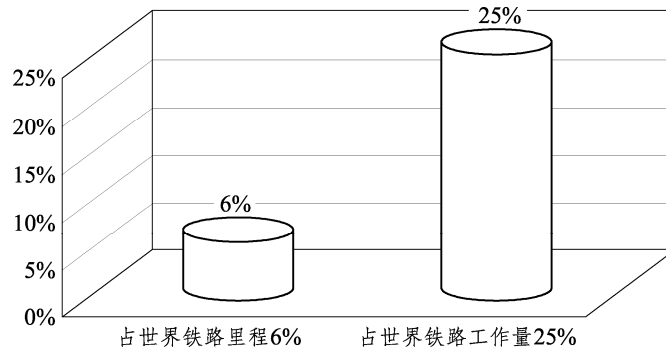
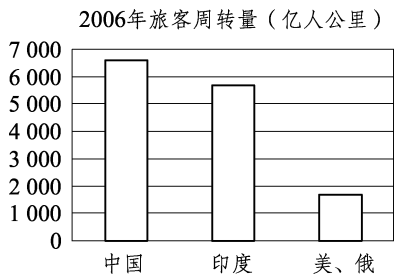
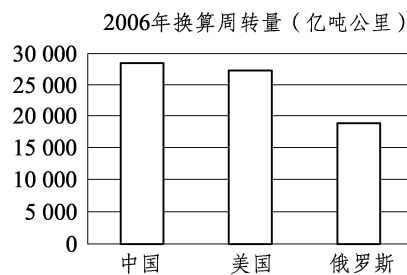


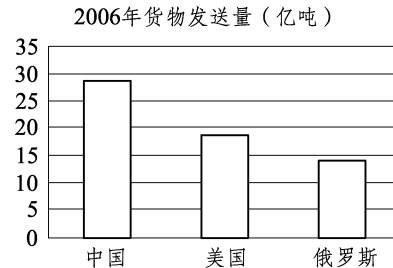
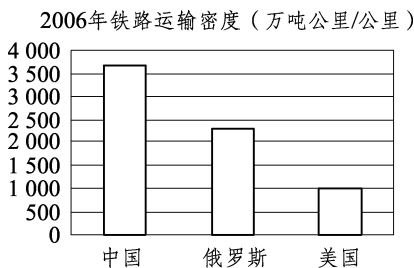
图 1.7 我国铁路与世界铁路



(a) 2006 年旅客周转量



(b) 2006 年换算周转量



(c) 2006 年铁路运输密度

(d) 2006 年货物发送量

图 1.8 中国铁路运输效率 4 个世界第一示意

到 2016 年，中国高速铁路已经创造了十项世界第一的纪录：一是营业里程达 2.0 万千米，超过世界高铁总营业里程的一半，是当之无愧的世界第一。二是建设速度最快，我国从 2004 年开始建设高速铁路，经过 10 多年建设，四纵四横高速铁路网骨架已基本成形，到 2016 年高铁营业里程已达 2.0 万千米，平均每年建成投入使用约 1 700 km，建设速度世界第一。三是运营速度世界第一，2010 年 12 月京沪高铁最高运营速度达 486.1 km/h。四是轮轨试验速度最高，在南车四方股份公司的高速列车国家工程实验室中创造了 605 km/h 的最高轮轨试验速度。五是建成了世界等级最高的高铁——京沪高铁。2011 年 6 月，京沪高铁建成投产，这是世界上一次建成线路最长、标准最高的高铁。它贯穿北京、天津、河北、山东、安徽、江苏、上海 7 省市，连接环渤海和长三角两大经济区，全长 1 318 km。六是世界首条新建高寒高铁——哈大高铁。2012 年 12 月 1 日，中国首条也是世界第一新建高寒地区长大高速铁路哈尔滨——大连高铁投入运营。哈大高铁营业里程 921 km，设计速度 350 km/h，纵贯辽宁、吉林、黑龙江三省，全线设 23 个车站。七是建成了世界单条运营里程最长高铁——京广高铁。2012 年 12 月 26 日，全球运营里程最长（全长 2 298 km）的京广高铁全线开通运营。八是建成了世界上一次性建成通车里程最长的高铁——兰新高铁。2014 年 12 月 26 日，兰新高铁全线贯通，全长 1 776 km。九是构建了谱系最全的动车组大家庭：我国拥有世界上从 200 ~ 500 km/h 各种速度等级的动车组，可谓种类最丰富、谱系最完整。这个动车组大家庭融合了世界先进技术，并通过消化吸收再创新，打造出了具有自主知识产权的高端产品，成员包括：初期引进的 CRH₁、CRH₂、CRH₃、CRH₅，时速 200 ~ 300 km 不等，引进后提升到 350 km，后面又有自主研发的时速可达 380 km 的和谐号 CRH380 系列以及时速达 350 km 的复兴号高速动车组。十是有最惊人的高铁运量：高铁以方便、快捷、舒适征服了不少人的心，在京津、京沪、武广等线路，高铁出现一票难求的情景，2014 年，有 8 亿多次选择高铁出行，其中最繁忙的是京沪高铁，一条线就有过亿人次乘坐。

截至 2018 年年底，全国铁路营业里程达到 13.1 万公里，其中高铁 2.9 万公里。

（三）线路通过能力

铁路线路上每昼夜能通过的列车对数，按货物列车平行成对运行图计算，称为线路通过能力。计算通过能力要具有列车运行图的基础知识。

1. 列车运行图

列车运行图是表示列车运行情况的示意图，图中显示出各次列车走行和停站时分以及各种列车相互配合的情况。它是组织铁路车、机、工、电、运各部门共同完成运输任务的基础。

图 1.9、图 1.10 分别是单线铁路非平行运行图和单线平行成对运行图的部分示意。图中横轴表示时间，每 10 min 画一竖线，纵轴表示距离，每一车站中心的里程处画一横线；两站间的斜线表示列车在该区间的运行情况，称为列车运行线。图 1.9 中的加粗黑斜线（如 35 次、36 次）表示旅客列车运行线，其斜率较陡，说明列车的走行速度快、走行时分短；图 1.9 中的粗斜线（如 1 248 次、1 253 次）表示货物列车运行线，其斜率较缓，说明列车的走行速度慢、走行时分长。斜线与相邻两横线交点的时分，分别表示列车从一站到另一站的发车和到

达时间；斜线与相邻两横线交点间的时段，表示列车在该区间的走行时分。例如：图 1.9 中的 1 248 次货物列车通过 C 站的时间是 0 h 6 min，到达 B 站的时间是 0 h 20 min，其间走行时分为 14 min；1 248 次货物列车在 B 站向 A 站发车的时间为 0 h 27 min，说明该次列车在 B 站停站 7 min。

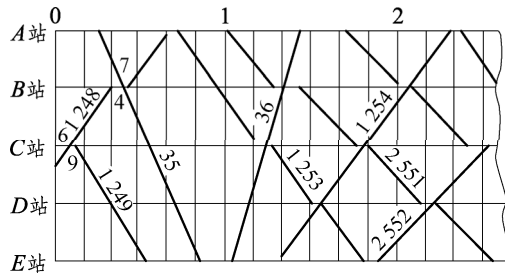


图 1.9 单线非平行运行图

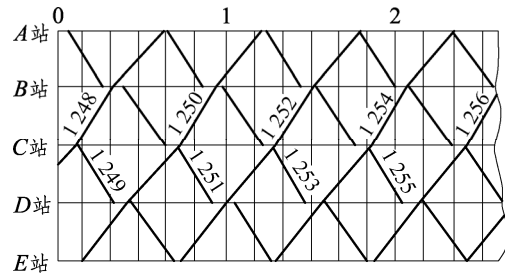


图 1.10 单线平行成对运行图

运行图中的列车编号，离开北京方向行驶的列车为单数，称为下行列车；向着北京方向行驶的列车为双数，称为上行列车。

铁路运营部门采用的是非平行运行图（图 1.9）。因为铁路上实际开行的旅客列车、货物列车、零摘列车等，它们的速度各不相同，所以在运行图上同一区间各种列车的运行线是互不平行的。编制非平行运行图，涉及很多具体问题，花费时间长，且必须绘出运行图后，才能得出客货列车的行车量，故只在实际运营工作中采用。

在铁路设计中，采用的是平行成对运行图（图 1.10）。这种运行图假定在线路上运行的都是直通货物列车，不但在同一区间同一方向上列车的运行速度相同，也就是列车运行线相互平行，并且上下行列车成对运行。采用平行成对运行图，就可以据以计算通过能力。

2. 线路通过能力的计算

1) 单线的通过能力

单线的通过能力 N 可根据一对直通货物列车占用区间的时分计算；一对直通货物列车占用区间的时分称为运行图周期 T ，包括区间往返行车时分 $t_w + t_f$ 与两端车站作业时分 $t_B + t_H$ 。 t_B 称为不同时到达时间，即车站前后两区间的对向列车为了保证行车安全需要不同时到达车站的最小间隔时分； t_H 称为会车间隔时间，即从一列车到达车站到对向列车向同一区间开出、办理发车作业所需要的最小间隔时分。运行图周期 T_z 如图 1.11 所示。每昼夜为 1 440 min，但线路可用于开行列车的时分尚需扣除维修“天窗”时分 Δt ，故每昼夜线路可用于开行列车的时间为 $1\ 440 - \Delta t$ 。

$$N = \frac{1\ 440 - \Delta t}{T_z} = \frac{1\ 440 - \Delta t}{t_w + t_f + t_B + t_H} \quad (\text{对/d}) \quad (1.1)$$

式中： $t_w + t_f$ 主要由站间距离决定，并与牵引种类、机车类型、区间坡度大小等因素有关，可由牵引计算决定；

$t_B + t_H$ 由闭塞方式确定，路牌（签）闭塞为 8~10 min，半自动闭塞为 6~9 min，自动闭塞为 4~7 min，自动闭塞加调度集中为 3.5~6 min；

Δt 为维修“天窗”占用时分，电气化铁路一般按日均 90 min 计，内燃牵引铁路可根据运输要求按具体情况确定综合维修“天窗”的日均值。

一个区段内各个区间的距离、坡度等条件不同，运行图周期有大有小，其中运行图周期最长者，控制全区段的通过能力，称为控制区间。区段的通过能力按控制区间的运行图周期计算。

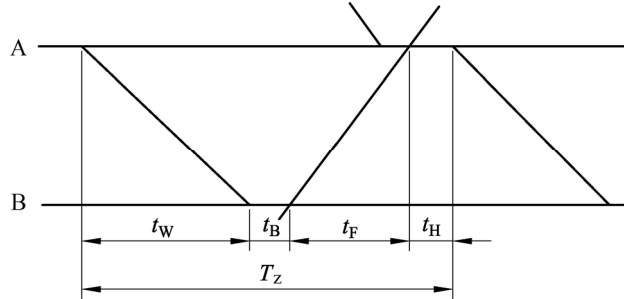


图 1.11 平行成对运行图周期

我国单线铁路的通过能力一般可达 40 对/d。采用先进的闭塞方式和特殊的行车方式，通过能力可达 50 对/d。

2) 双线的通过能力

双线铁路采用半自动闭塞时，同向列车可连发运行 [图 1.12 (a)]，运行图周期 T_z 为 $t + t_L$ 。 t_L 为连发间隔。

$$N = \frac{1440 - \Delta t}{t + t_L} \quad (\text{列/d}) \quad (1.2)$$

双线铁路一般采用自动闭塞，双方向都可安排追踪运行 [图 1.12 (b)]，按时分间隔 I 发车， I 一般为 6 ~ 10 min。

$$N = \frac{1440 - \Delta t}{I} \quad (\text{列/d}) \quad (1.3)$$

Δt 为维修“天窗”占用时间，电气化铁路一般按日均 120 min 计，内燃牵引铁路可根据运输要求按具体情况确定综合维修“天窗”的日均值。

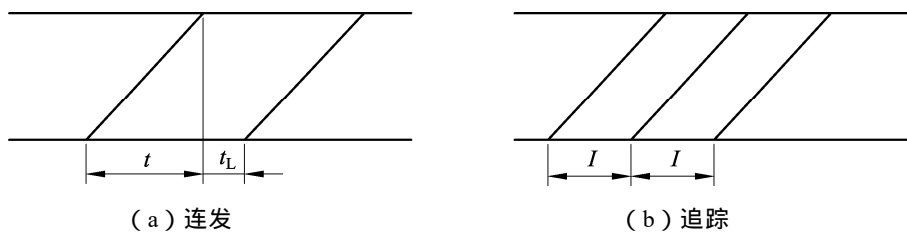


图 1.12 双线平行运行图

3) 通过能力的限制

通过能力还受其他条件的限制，如车站股道数量、电力牵引时的供电能力、蒸汽牵引时的给水能力，实际通过能力将受薄弱环节的控制。设计时一般根据线路通过能力，设计其他相应设备，使其相互协调。

(四) 牵引吨数与输送能力

1. 牵引吨数

牵引吨数 Q 是直通货物列车机车所拉货车 (含货物) 的总质量 (t), 它是按列车在限制坡度上以机车计算速度等速运行的条件求得的。

$$Q = \frac{F_{\text{计}} - P(\omega_0' + 10i_{\text{限}})}{\omega_0'' + 10i_{\text{限}}} \quad (\text{t}) \quad (1.4)$$

式中 $F_{\text{计}}$ —— 机车计算牵引力 (N), 一般采用持续制;

P —— 机车整备质量 (t);

ω_0' —— 在计算速度下的机车单位基本阻力 (N/t);

ω_0'' —— 在计算速度下的车辆单位基本阻力 (N/t);

$i_{\text{限}}$ —— 限制坡度值 (‰), 限坡为 4‰ 时 $i_{\text{限}} = 4$, 限坡为 12‰ 时 $i_{\text{限}} = 12$ 。

从 (1.4) 式可知, 货物列车的牵引吨数是由限制坡度大小以及由牵引种类和机车类型所决定的计算牵引力高低确定的, 表 1.5、表 1.6 和表 1.7 分别列出了常用的客运、CRH 系列动车组和货运机车型号及主要技术参数。

表 1.5 常用的客运机车型号及主要技术参数

类型	机型	最大速度 / (km/h)	计算质量 / t	计算速度 / (km/h)	计算牵引力 / kN
客 运 机 车	BJ	120	92	23.7	175.0
	DFH ₃	120	85	30.0	157.0
	ND ₂	120	118	25.2	155.7
	DF ₄	120	135	24.0	251.6
	DF _{4B}	120	138	29.0	235.2
	DF _{4D}	140	138	39.8	214.8
	DF ₁₁	170	138	65.6	160.0
	SS _{7D}	160	126	96	171.0
	SS ₈	177	88	99.7	127.0
SS ₉	170	126	99.7	169.0	

表 1.6 CRH 系列动车组型号及主要技术参数

型号	CRH ₁	CRH ₂ -200	CRH ₂ -300	CRH ₃	CRH ₅	CR400AF/BF
投入运营年	2007	2007	2008	2008	2007	2017
基本编组	5 动 3 拖	4 动 4 拖	6 动 2 拖	4 动 4 拖	5 动 3 拖	8 辆编组
编组定员/人	668	609	610	556 (+ 1)	622(固定座椅) 586(旋转座椅)	576
车体材料	不锈钢	铝合金	铝合金	铝合金	铝合金	铝合金
运营速度 / (km/h)	200	200	300 ~ 350	300 ~ 350	200	350
最高试验速度 / (km/h)	250	250	385	394.3	250	400

最大轴重 / kN	16	14	14	17	17	
总牵引功率 / kW	5 500	4 800	8 200	8 800	6 770	
制动方式	再生+空气	再生+空气	再生+空气	再生+空气	再生+空气	
牵引控制方式	矢量控制	矢量控制	矢量控制	矢量控制	矢量控制	

表 1.7 常用的货运车型号及主要技术参数

类型	机型	最大速度 / (km/h)	计算质量 / t	计算速度 / (km/h)	计算牵引力 / kN
货运 机车	DF4	100	135	20.0	302.1
	DF4B	100	138	21.8	313.0
	DF4C	100	138	24.5	301.5
	ND5	118	135	22.2	360.0
	DF8	100	138	31.2	307.3
	6K	100	138	48.0	360.0
	8G	100	184	50.0	455.0
	SS1	95	138	43.0	301.2
	SS3	100	138	48.0	317.8
	SS4	100	184	51.5	431.6
	SS7	100	138	48.0	353.3

2. 牵引吨数的限制条件与牵引定数

1) 站线股道有效长度限制的牵引吨数 $Q_{\text{有效}}$

站线股道有效长度是站线停放列车而不影响邻线行车的长度，车站到发线的有效长度一般是出站信号机到警冲标间的长度，我国铁路干线的站线有效长度 $L_{\text{有效}}$ 一般为 1 050 m、850 m、750 m、650 m 与 550 m。

$$Q_{\text{有效}} = (L_{\text{有效}} - l_{\text{机}} - 30) \times q \quad (1.5)$$

式中 $L_{\text{有效}}$ ——站线有效长度 (m)；

$l_{\text{机}}$ ——机车长度 (m)；

30 ——安全距离 (m)；

q ——车辆平均每延长米的质量 (t/m)，按我国车辆组成， $q = 5.677$ t/m。

2) 起动条件限制的牵引吨数 $Q_{\text{起}}$

列车在车站停车后再重新起动时，列车阻力较大；若站坪坡度稍大，可能引起起动困难，从而限制牵引吨数。

$$Q_{\text{起}} = \frac{F_{\text{起}} - P(\omega'_{\text{起}} + 10i_{\text{起}})}{\omega''_{\text{起}} + 10i_{\text{起}}} \quad (1.6)$$

式中 $F_{\text{起}}$ ——机车的起动牵引力 (N)；

$\omega'_{起}$ ——机车单位起动阻力 (N/t), 电力、内燃 $\omega'_{起} = 50$ N/t;

$\omega''_{起}$ ——车辆单位起动阻力 (N/t), $\omega''_{起} = 30 + 4i_{起}$, 计算值小于 50 时, 取 $\omega''_{起} = 50$ N/t,
滚动轴承车辆 $\omega''_{起} = 35$ N/t;

$i_{起}$ ——列车起动地段的坡度值 (‰)。

3) 牵引定数

一个区段的货物列车牵引吨数通常受上述三种条件的限制。实际的牵引吨数应取三者中的最小值, 此最小值称为牵引定数。

技术娴熟的机车乘务组采用先进的操作方法, 可使实际的牵引吨数超过规定的牵引定数, 此时称为“超轴牵引”。有时因编挂辆数不足, 或遇到严寒逆风天气, 而需要降低牵引定数, 此时称为“欠轴运行”。

我国铁路直通货物列车的牵引定数, 一般由机车类型和限制坡度决定, 并且受站线有效长度的限制。平原地区干线铁路的牵引定数已达 4 000 ~ 5 000 t, 两列车合并运行的组合列车牵引定数已达 7 000 t, 大秦线单元列车的牵引定数已达 10 000 t。山区铁路的牵引定数一般在 2 000 t 以上, 远期采用大功率机车牵引定数一般可达 3 000 ~ 4 000 t。

3. 铁路输送能力

铁路输送能力 C 指每年铁路单方向能运送货物的吨数。铁路的输送能力应当大于铁路需要完成的货运任务, 并保留一定的储备能力, 以适应国民经济各部门扩大再生产的需要。

$$C = \frac{365 \cdot N_{货} \cdot Q_{净}}{10^4 \cdot \beta} \quad (\text{万吨/a}) \quad (1.7)$$

式中 $N_{货}$ ——每天能通过的折算货物列车对数 (对/d);

$Q_{净}$ ——每列直通列车的货物质量 (t), 且

$$Q_{净} = \text{净重系数} \times \text{牵引吨数} = 0.720Q$$

β ——货物波动系数, 全路平均约为 1.15, 且

$$\beta = \frac{\text{最大月货运量}}{\text{全年每月平均货运量}}$$

货物列车包括直通、快货、摘挂、零担等, 快运货物列车、摘挂列车与零担列车的货物质量一般较直通货物列车小, 需要按货物质量折合为直通列车对数计算。

$$N_{货} = N_{直} + \mu_{快} \cdot N_{快} + \mu_{摘} \cdot N_{摘} + \mu_{零} \cdot N_{零} \quad (\text{对/d}) \quad (1.8)$$

式中 $\mu_{快}$ 、 $\mu_{摘}$ 、 $\mu_{零}$ ——快货、摘挂、零担列车货物质量与直通列车货物质量之比, 快运货物列车可根据编挂辆数与货物品种确定 $\mu_{快}$ 值, 零担列车一般可采用

$$\mu_{摘} = 0.75, \mu_{零} = 0.5;$$

$N_{快}$ 、 $N_{摘}$ 、 $N_{零}$ ——快货、摘挂、零担列车对数, 可根据经济调查资料推算;

$N_{直}$ ——直通货物列车对数, 可按下式计算:

$$N_{直} = \frac{N}{1+\alpha} - (\varepsilon_{客} \cdot N_{客} + \varepsilon_{快} \cdot N_{快} + \varepsilon_{摘} \cdot N_{摘} + \varepsilon_{零} \cdot N_{零}) \quad (\text{对/d}) \quad (1.9)$$

式中 N ——通过能力，见 (1.1) \ (1.2) \ (1.3) 式；
 α ——通过能力储备系数，单线 $\alpha=0.20$ ，复线 $\alpha=0.15$ ；
 ε ——扣除系数（占线系数）见表 1.8 所示。

表 1.8 扣除系数

正线	闭塞方式	旅客列车	快货列车	零担列车	摘挂列车	备注	
单线	自动	1.0	1.0	1.5~2.0	1.3~1.5	$N_{摘}$ 3对/d, 取 1.3	
	半自动	1.1~1.3	1.2	1.5~2.0	1.3~1.5		
双线	自动	$I=6$	2.30~2.55	2.0~2.3	3.0~3.4	2.5~3.0	$N_{客} = (31 \sim 60)$ 列/d
		$I=8$	1.90~2.40				$N_{客} = (5 \sim 60)$ 列/d
		$I=10$	1.85~2.20				$N_{客} = (5 \sim 40)$ 列/d
	半自动	1.3~1.5	1.4	2.0~3.0	1.5~2.0		

将 (1.9) 式的 $N_{直}$ 代入 (1.8) 式，可得：

$$N_{货} = \frac{N}{1+\alpha} - [\varepsilon_{客} \cdot N_{客} + (\varepsilon_{快} - \mu_{快}) \cdot N_{快} + (\varepsilon_{摘} - \mu_{摘}) \cdot N_{摘} + (\varepsilon_{零} - \mu_{零}) \cdot N_{零}] \quad (\text{对/d}) \quad (1.10)$$

上列 (1.9) 式利用通过能力储备系数 α 计算货物列车 $N_{货}$ 的方法，为设计部门所采用。运营部门通常采用通过能力使用系数 $K_{使}$ ($K_{使}=0.9$) 来计算能够使用的货物列车 $N_{货}$ ，而用下式取代 (1.9) 式：

$$N_{货} = K_{使} \{ N - [\varepsilon_{客} \cdot N_{客} + (\varepsilon_{快} - \mu_{快}) \cdot N_{快} + (\varepsilon_{摘} - \mu_{摘}) \cdot N_{摘} + (\varepsilon_{零} - \mu_{零}) \cdot N_{零}] \} \quad (\text{对/d}) \quad (1.11)$$

计算输送能力时，由于可根据货物品种的装载情况，而引入货物列车不满轴系数 $\gamma_{不}$ ，将 (1.7) 式修正为下式：

$$C = \frac{365 \cdot N_{货} \cdot Q_{净} \cdot \gamma_{不}}{10^4 \cdot \beta} \quad (\text{万吨/a}) \quad (1.12)$$

铁路干线客货列车的行车量，单线铁路一般可达 35 对/d，双线铁路一般可达 115 对/d。铁路干线的输送能力随限制坡度大小和旅客列车多少而不同，山区单线铁路一般可达 2 000 万吨/年，平丘单线铁路一般可达 3 000 万吨/年；平丘地区的煤运双线铁路，采用电力牵引与自动闭塞，输送能力可达每年 2 亿吨。

4. 行车速度

列车行车速度是铁路现代化的标志之一，铁路的行车速度是随着科学技术进步与铁路技术装备的改进而逐步提高的。在铁路规划、设计和运营管理工作中，经常会涉及以下行车速度的概念。旅客列车和货物列车的行车速度不同，应当分别考虑。

1) 最高速度

一条铁路或铁路某一区段客货列车可能达到的速度最大值称为最高速度。最高速度受各种技术装备的制约。对机车车辆而言，最高速度不能大于机车和车辆的构造速度；在上坡坡道上

速度可能受机车牵引功率的制约，在下坡坡道上速度可能受制动装置和制动距离的制约。对线路标准而言，区间的曲线半径大小和缓和曲线长度等可能成为最高速度的限制条件。对轨道构造而言，轨道类型、维修质量等决定了线路允许速度；旅客列车通过车站，最高速度又可能受正线道岔的直向过岔速度限制。所以一条铁路或某个区段的最高速度不宜统一划定，而应当根据具体情况分段拟定，才是比较经济合理的决策。

客货列车的最高速度不同，其速度差不宜过大，一般货物列车最高速度与旅客列车最高速度的比值宜控制在 0.6 左右；速差过大，不但曲线上外轨超高不易恰当设置，引起轮轨磨耗加剧，并且在行车组织上要引起旅客列车扣除系数加大，会降低客货列车的行车量。

2) 走行速度

客货列车在区段内运行，按所有中间车站不停车通过所计算的区段平均速度称为走行速度。走行速度可由牵引计算求得。

3) 技术速度

客货列车在区段内运行，计入中间车站停车的停车和起停附加时分所计算的区段平均速度称为技术速度，也可由牵引计算得到。

货物列车的起停附加时分与牵引吨数、机车类型以及站前纵断面情况有关。过去货物列车牵引吨数仅 2 000 t 左右，起停附加时分通常取 3 min；目前牵引吨数已提高到 3 000 t、4 000 t、5 000 t，起停附加时分有增大趋势。

旅客列车的起停附加时分与编挂辆数、机车类型、最高速度以及站前纵断面情况有关，可通过牵引计算求得。

4) 旅行速度

客货列车在区段内运行，计入中间车站停车的起停附加时分、中间车站的停车时分所计算的区段平均速度称为旅行速度。

运营管理部门可根据绘出的非平行运行图确定各种列车的旅行速度，或采用很烦琐的公式计算得出。

设计部门多采用旅速系数推算，旅速系数 β 是旅行速度 $v_{\text{旅}}$ 和走行速度 $v_{\text{走}}$ 的比值， $v_{\text{旅}} = \beta \cdot v_{\text{走}}$ 。旅速系数可用公式推求，也可采用表 1.9 中的经验数据概略估算。

表 1.9 旅速系数值

机车类型		蒸汽机车	内燃机车	电力机车
线型	单 线	0.65	0.70	0.70
	双 线	0.70	0.80	0.85

(五) 铁路的技术装备

铁路的技术装备由土建工程和各种设备构成。土建工程还可称为固定设备；以机车车辆为主体的设备可称为移动设备；通信、信号属于设备类，目前正由固定型向移动型过渡。

1. 土建工程类

1) 线 路

铁路线路的走向、位置、平面和纵断面等体现铁路总的概貌。

(1) 轨道：包括钢轨（如 43 kg/m、50 kg/m、60 kg/m、75 kg/m，一般长 25 m，还有焊接无缝线路）、扣件（夹板、螺栓、道钉、垫板）、轨枕（木枕、钢筋混凝土枕、轨枕板等）、道床（碎石、整体）、防爬设备、道岔（单开、双开、交分）。

(2) 路基：包括路堤（填方）和路堑（挖方）、挡墙、护坡、支挡建筑物。根据自然条件不同有各种特殊路基，如软土、永冻土、盐渍土、沙漠、水库区路基等。

2) 桥梁和涵洞

(1) 桥梁包括梁部构造（钢桁梁、钢钣梁、钢筋混凝土梁、拱桥、斜拉桥等）、墩台（空心、实体桥墩，U 形、T 形、耳墙式桥台等）和基础（明挖基础、沉井、沉箱、管柱等）。

(2) 涵洞有箱形、圆形、拱形，还有虹吸管、渡槽等。

(3) 桥涵设计中水文问题很重要，应考虑洪水频率、洪水流量、洪水位、流速和冲刷问题。

3) 隧 道

隧道包括洞门、洞身，并根据围岩种类设计衬砌。长隧道施工中的开挖、出砟、通风、地热、岩爆等问题都应考虑。

4) 车 站

车站是铁路对外联系的门户，根据作业性质和规模的不同，单线有会让站，双线有越行站，还有一般中间站、区段站、编组站、客运站、货运站等。

5) 铁路枢纽

铁路枢纽是几条铁路相互衔接交叉的地区，是设有各种专业车站和联络线、进站线路、专用线以及很多中间站等设施的综合体。专业车站包括编组站、旅客站、货物站、区段站等。例如，图 1.13 为我国最大的铁路枢纽——郑州铁路枢纽示意。又如，北京铁路枢纽是我北方最大的铁路枢纽，京九、京广、京沪、京哈、京包、京承、京原、京通、京秦等我国主要铁路干线汇集北京。其中：丰台西、丰台、双桥等为编组站；北京、北京西、北京北、北京南等为大型客运站；广安门、北京东等为大型货物站。北京铁路枢纽到发的旅客列车达到 170 多对，通往 88 个城市、4 个国家，年旅客发送量达到 5 322 万人次。北京西客站建于 1996 年，主站房高达 90 m，正面长达 740 m，主站区建筑面积约 50 万平方米，是我国目前最大的客运站，也是亚洲最大的客运站，各类客运设施也是最先进的。图 1.14 为北京铁路枢纽示意。

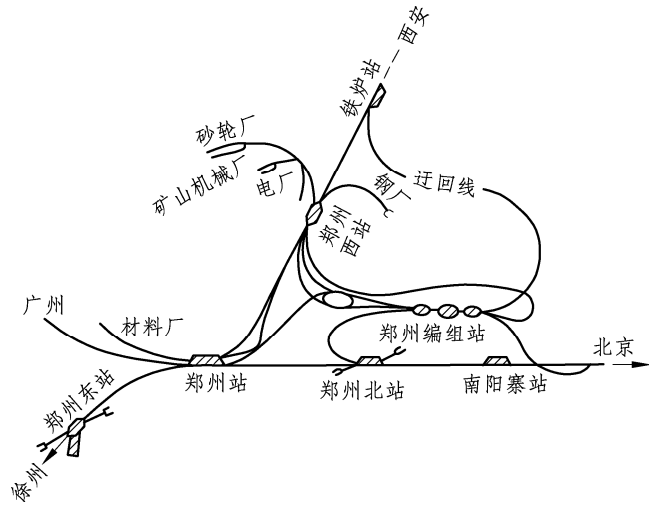


图 1.13 郑州铁路枢纽示意

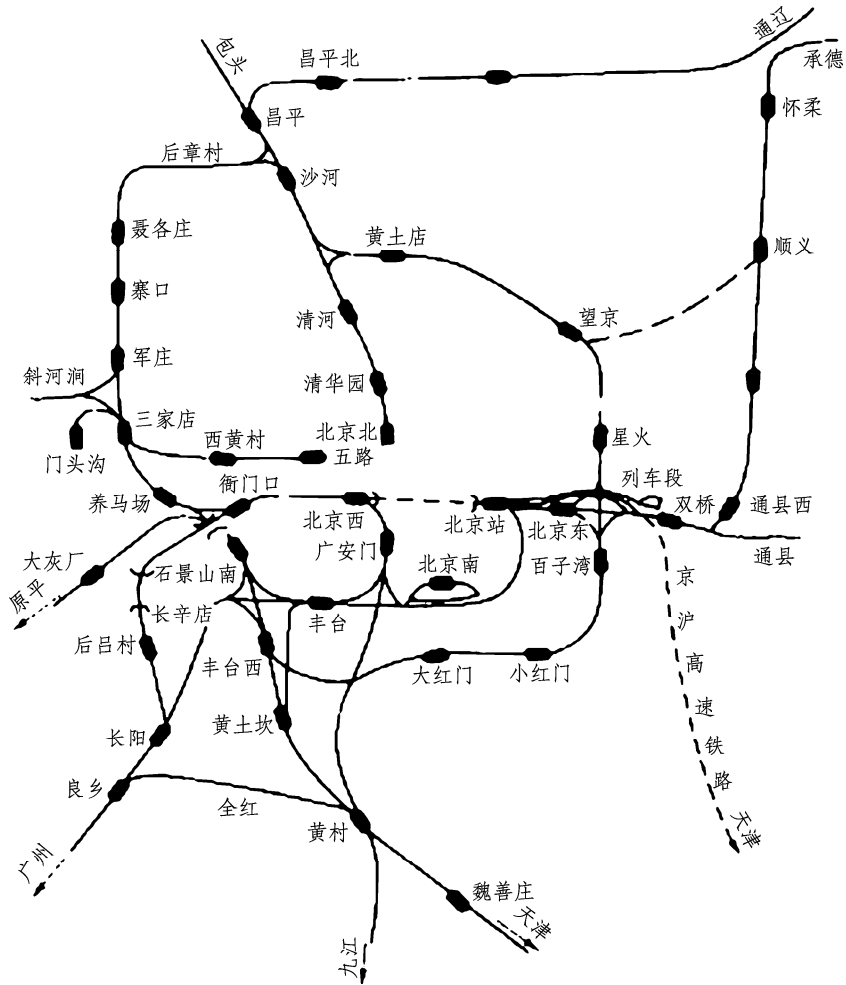


图 1.14 北京铁路枢纽示意

2. 铁路设备类

1) 机 车

机车是铁路运输的基本动力，为完成客、货列车的牵引和车站的调车任务，铁路必须拥有数量足够、牵引性能良好的机车。机车牵引种类按牵引动力不同有蒸汽、内燃、电力三种；按用途不同可分为客运机车、货运机车和调车机车。2006年年底全国铁路机车拥有量达到1.78万台。其中内燃、电力机车比重为99.3%，主要干线全部实现内燃、电力机车牵引。

(1) 蒸汽机车。我国蒸汽机车已于1988年停止生产，2005年12月9日，在内蒙古大板附近最后一列蒸汽机车执行完任务后，退出历史舞台。我国蒸汽机车主要类型为前进(QJ)和建设(JS)通常用于货运。蒸汽机车的轴式按导轮-动轮-从轮的轴数表示，如前进型的轴式为1-5-1，表示导轮轴数为1，动轮轴数为5，从轮轴数为1。我国过去的主型蒸汽机车轴式排列为：1-5-1(前进型)、1-4-1(建设型、解放型)、2-3-1(人民型、胜利型)、1-3-1(跃进型)、0-4-0(蓉建型、星火型)。

(2) 内燃机车。内燃机车根据机车上内燃机的种类，可分为柴油机车和燃气轮机车。由于燃气轮机车的效率低于柴油机车以及耐高温材料成本高、噪声大等，其发展落后于柴油机车。在中国，内燃机车的概念习惯上指的是柴油机车。

1924年，苏联制成一台电力传动内燃机车，并交付铁路使用。同年，德国用柴油机将蒸汽机车改装成为空气传动内燃机车。1925年，美国将一台220kW电传动内燃机车投入运用，从事调车作业。20世纪30年代，内燃机车进入试用阶段，直流电力传动液力变扭器等广泛采用，并开始在内燃机车上采用液力耦合器和液力变扭器等热力传动装置的元件，但内燃机车仍以调车机车为主。20世纪30年代后期，出现了一些由功率为900~1000kW单节机车多节连挂的干线客运内燃机车。

第二次世界大战以后，因柴油机的性能和制造技术迅速提高，内燃机车功率比战前提高约50%。到了20世纪50年代，内燃机车数量急骤增长；60年代，大功率硅整流器研制成功，并应用于机车制造，出现了交-直流电力传动的2940kW内燃机车；在70年代，单柴油机内燃机车功率已达到4410kW。随着电子技术的发展，德国在1971年试制出1840kW的交-直-交电力传动内燃机车，从而为内燃机车和电力机车的技术发展提供了新的途径。内燃机车随后的发展，表现为在提高机车的可靠性、耐久性和经济性，以及防止污染、降低噪声等方面不断取得新的进展。

中国从1958年开始制造内燃机车，先后有东风型等3种型号机车最早投入批量生产。1969年后相继批量生产了东风4等15种新机型，同第一代内燃机车相比较，在功率、结构、柴油机热效率和传动装置效率上，都有显著提高；而且还分别增设了电阻制或液力制动和液力换向、机车各系统保护和故障诊断显示、微机控制的功能；采用了承载式车体、静液压驱动等一系列新技术；机车可靠性和使用寿命方面，性能有很大提高。东风11客运机车的速度达到了160km/h。在生产内燃机车的同时，中国还先后从罗马尼亚、法国、美国、德国等国家进口了不同数量的内燃机车，随着铁路高速化和重载化进程的加快，正在进一步研究设计、开发与之相适应的内燃机车。

内燃机车按用途可分客运、货运、调车内燃机车，按走行部形式分为车架式和转向架式内

燃车，按传动方式分为机械传动、液力传动、电力传动内燃机车。现代机车多采用电力和液力传动。电力传动又可分为直流电力传动和交-直流电力传动和交-直-交电力传动内燃机车。我国内燃机车主要类型有东风（DF）系列、东方红系列和北京型。传动方式东风系列为电力传动，东方红系列和北京型为液力传动。轴式表示方式用 B 表示两轴转向架，用 C 表示三轴转向架；电力传动时下角加 0，液力传动时上角加撇。如东风_{4B}型机车的轴式为 C₀-C₀，表示机车有 2 个三轴转向架，系电力传动；又如北京型客运机车的轴式为 B'-B'，表示机车有 2 个两轴转向架，系液力传动。

在近十多年以来，通过进一步研究开发、引进技术，我国在内燃机车生产制造方面取得了丰硕成果。为了适应铁路“提速重载”的要求，满足国家铁路和出口的需要，我国开发了一系列具有新技术水平的内燃机车，为“提速重载”作出了重要贡献。货运和重载内燃机车，主要有 DF₆、DF_{4E}、DF_{7B} 双机、DF_{7D} 双机及 DF_{8B} 型等内燃机车。

（3）电力机车。电力机车本身不带原动机，靠接受接触网送来的电流作为能源，由牵引电动机驱动机车的车轮。电力机车具有功率大、热效率高、速度快、过载能力强和运行可靠等主要优点，而且不污染环境，特别适用于运输繁忙的铁路干线和隧道多、坡度大的山区铁路。

接触网供给电力机车的电流有直流和交流两种。由于电流制不同，所用的电力机车也不一样，基本上可以分为直-直流电力机车、交-直流电力机车、交-直-交流电力机车三类。

直-直流电力机车采用直流制供电，牵引变电所内设有整流装置，它将三相交流电变成直流电后，再送到接触网上。因此，电力机车可直接从接触网上取得直流电供给直流串励牵引电动机使用，简化了机车上的设备。直流制的缺点是接触网的电压低，一般为 1 500 V 或 3 000 V，接触导线要求很粗，要消耗大量的有色金属，加大了建设投资。

1866 年，德国工程师西门子与技师哈卢施卡联营创立电机公司，发明强力发电机，制成世界上第一列电力机车，震惊了許多人。1879 年，这辆世界最早的电力火车公开试运行。列车用电动机牵引，由带电铁轨输送电流，功率为 2.2 kW，一次可运旅客 18 人，时速 7 km。两年之后 1881 年，柏林郊外铺设了规模虽小，但为世界最初营业用的电车路线。同时德国又试验成功架空接触导线供电系统，使电力机车的供电线路由地面转向空中，机车的电压和功率都得到了大大提高。

1895 年，在美国的巴尔的摩—俄亥俄铁路线上首次出现了长途电力机车。机车重 96 t，793.8 kW，采用 550 V 直流供电。

1901 年，西门子、哈卢施卡电机公司制造的电力机车在柏林附近创造了时速 160 km 的纪录。与此同时，在 1880 年，美国爱迪生也进行了电车的试验。

电力机车由于速度快、爬坡能力强、牵引力大、不污染空气，因此发展很快。地下铁路也随着电车的出现而得以发展。

中国第一台电力机车于 1958 年诞生于湖南株洲，命名为“韶山”，为中国铁路步入电气化立下了汗马功劳。特别是近十多年来，电力机车实现了“简化、系列化”。我们开发了一系列较高水平的电力机车。经过 20 世纪 80 年代 8K、6K、8G 型等国外电力机车进口、消化吸收和自主开发，电力机车发展进入换代期，形成产品的多机系列，如 SS₄ 到 SS₉ 及其派生型，轴式有

2B₀、2C₀、3B₀，构成了4、6、8轴快速客运、客货两用和重载货运机车等产品。我国也有了高水平的电力机车，有了自行开发的16位计算机控制系统和故障诊断系统。电力机车速度实现了从常速向高速飞跃。

我国现在运用的主要干线电力机车有：

韶山系列SS₁、SS₃、SS₄(G)、SS₆、SS_{6B}、SS₇、SS_{7C}、SS_{7D}、SS_{7E}、SS₈、SS₉(G)，和谐号动车CRH₁、CRH₂、CRH₅及和谐号客车HXD3，复兴号动车CR400AF、CR400BF等。

电力机车为电力传动，如单节SS₃的轴式为C₀-C₀，双节SS₄的轴式为(B₀-B₀)+(B₀-B₀)。电力机车一直采用直流牵引电动机传动，自1996年起株洲电力机车厂已试制出交流电机传动的电力机车，四轴总功率为4000kW。交流传动的电力机车，牵引与制动性能好，起动牵引力大，恒功率范围宽，对通信信号无干扰，优点显著，表明我国电力机车制造技术又攀登上一个新的台阶。图1.15为和谐号CRH₁、CRH₂、CRH₅动车组。图1.16为复兴号动车组。



图 1.15 和谐号动车组 CRH



图 1.16 复兴号动车组 CR400AF、CR400BF

2) 车 辆

铁路运输的运载工具是铁路车辆。车辆本身没有动力装置，需要把车辆连挂在一起由机车牵引，才能完成客货运输任务。

铁路车辆按用途可分为客车和货车两大类。货车类型用车种的汉语拼音的第一个字母表

示，敞车（C）最多，占大多数，其次为棚车（P）、罐车（G）、平车（N）、保温车（B）。货车的平均每辆标记载重为 58.2 t，每延米质量为 5.677 t，净载系数为 0.720。

客车有硬座（YZ）、硬卧（YW）、软座（RZ）、软卧（RW）等型号，近年生产的 25 型客车和双层客车，其构造速度已达 140 ~ 160 km/h。2006 年年底，全国铁路客车拥有量达到 4.26 万辆，其中空调车 2.30 万辆，占客车总数的 53.9%。全国铁路货车拥有量达到 56.67 万辆。

铁路车辆由于不同的目的、用途、运用条件及科学技术的进步、新材料的出现，使车辆形成了多种类型与不同结构，但它们均可以概括为由车体、走行部、制动装置、车钩缓冲装置及车内设施等 5 个基本部分组成。

铁路车辆与其他车辆的最大不同点，在于这些车辆的车轮必须在专门为它铺设的钢轨上运行。这种特殊的轮轨关系成了铁路车辆结构上最大的特征，并由此产生出以下的特点：

（1）自行导向：除铁路车辆外的各种运输工具几乎全有操纵运行方向的机构，唯有铁路通过其特殊的轮轨结构，车轮只能沿轨道运行而无须专人掌握运行的方向。

（2）低运行阻力：除坡道、弯道及空气对车辆的阻力外，运行阻力主要来自走行机构中的轴与轴承以及车轮与轨面的摩擦阻力。铁路车辆的车轮与钢轨是含碳量偏高的钢材，轮轨接触处的变形较小，而且，铁路线路结构状态也会尽量使其运行阻力减小，故铁路车辆运行中摩擦阻力较小。

（3）成列运行：铁路车辆可以编组、连挂而组成列车。为适应成列高速运行特点，机车与车辆、车辆与车辆之间需设连接、缓冲装置，且由于列车惯性很大，每辆车辆需设制动装置。

（4）严格的外形尺寸限制：铁路车辆只能在规定的线路上行驶，无法像其他车辆那样主动避让靠近它的物体，为此要制定限界，严格限制车辆的外形尺寸，以适应铁路的机车车辆限界，确保安全。

为了适应社会主义市场经济发展的要求和铁路本身发展的需要，铁路车辆今后应向高速度、大型化方向发展。为此，车辆的结构、制动装置等必须采用新工艺、新材料和新技术。客车向高速、舒适化方向发展，货车向“高、低、轻、重”方向发展，即“高”速度、“低”重心、“轻”自重、“重”载重。近年来，我国自行设计、制造了不少新型车辆，如生产了四轴载重为 60 t 的缩短型运煤敞车、六轴载重为 90 t 的运煤新型敞车，还研制了多轴载重为 150 t、280 t 和 350 t 特种车等。

3) 通信信号设备

铁路的通信设备近年来已有不少改进，路局安装了光纤程控电话，采用数字微波通信，设置了地面卫星通信站。

信号闭塞装置，双线多采用自动闭塞，单线都采用半自动闭塞，在京广线、广深线等繁忙干线已部分或全部引进了法国 UM71 无绝缘移频自动闭塞系统。与该系统相配套的地面通过信号机，采用四显示自动闭塞方式，即每架信号机有红、黄、绿、绿黄四种信号显示。四显示自动闭塞是在三显示基础上增加一种绿黄显示的自动闭塞制式，绿黄显示的意义是列车以全速越过绿色信号机后，用常用制动位减速，使列车减速到规定的速度去通过绿黄灯及黄灯，以保证列车在下一个红灯前停车。四显示自动闭塞区间追踪间隔一般为四个闭塞分区，制动距离一般为两个闭塞分区。

为了保证行车安全，绝大部分机车装置了机车信号（含报警）、自动停车装置和无线列调的机车三大件。

UM71 地面设备是与 TVM300 型机车车载设备一起使用的，且把机车信号作为主体信号。它利用无绝缘轨道电路作为连续速度信息的传输通道，将设置在地面的点式信息作为连续式的补充。车载设备上装有连续信息和点式信息的传感器。通过这些传感器，利用电磁感应原理将连续和点式信息传送到车上有关设备。信息输入的结果反映在驾驶室内，显示出各种速度信号以指挥行车。为了保证安全，机车信号配备了超速防护装置（简称为 AW），该系统可以实时监督和控制系统必须严格遵守机车信号显示的速度指令安全运行，如图 1.17 所示。

图中：LC 表示区间空闲；270A 表示列车速度可达 270 km/h；220A 表示列车行至前方信号点时，速度必须降至 220 km/h；160A 表示列车行至前方信号点时，速度必须降至 160 km/h；01 表示列车行至前方信号点时，速度必须降至 35 km/h；00 为红灯信息，表示列车行至前方信号点时，必须将速度降至零。

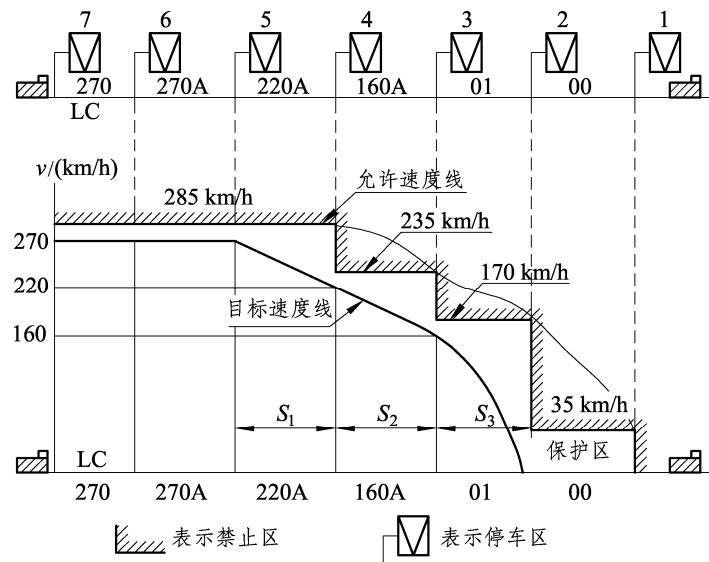


图 1.17 列车超速防护系统示意

3. 铁路机构

中国国家铁路集团有限公司（简称“中国铁路”）是经国务院批准，依据《中华人民共和国公司法》设立，由中央管理的国有独资企业，注册资金 10 360 亿元。

中国国家铁路集团有限公司以铁路客货运输服务为主业，实行多元化经营；负责铁路运输统一调度指挥，负责国家铁路客货运输经营管理，承担国家规定的公益性运输，保证关系国计民生的重点运输和特运、专运、抢险救灾运输等任务；负责拟订铁路投资建设计划，提出国家铁路网建设和筹资方案建议；负责建设项目前期工作，管理建设项目；负责国家铁路运输安全，承担铁路安全生产主体责任。

2018 年 11 月，中国国家铁路集团有限公司批准了各铁路局集团公司内设机构改革优化方案，改革优化后，18 个铁路局集团公司内设机构编制将精简 277 个、减幅 20.3%，人员编制精

简 4 501 名、减幅 10.5%。

2018 年 12 月 6 日，原国家工商总局网站公示披露，“中国国家铁路集团有限公司”企业名称已获核准。

公司名称：中国国家铁路集团有限公司
外文名称：China Railway (CR)
总部地点：北京市海淀区羊坊店街道复兴路 10 号
成立时间：2013 年 3 月 17 日
经营范围：国内、国际联运列车
公司类型：国有独资
公司口号：安全优质 兴路强国
员工数：204.56 万人
注册资金：10 360 亿元人民币
资产总额：46 631.59 亿元人民币
法定代表人：陆东福
前身：中华人民共和国铁道部
主管单位：国务院

1) 国家铁路集团有限公司机关组成

(1) 内设机构 (21 个)：办公厅、改革与法律部、计划统计部、财务部、科技管理部、人事部、劳动和卫生部、国际合作部、资本运营和开发部、物资管理部、信息化部、运输局 (综合部、营运部、调度部、机务部、车辆部、供电部、工务部、电务部、价格管理部)、建设管理部、安全监督管理局、审计和考核局、监察局、宣传部、中华全国铁路总工会、全国铁道团委、直属机关党委、离退休干部局。

(2) 经国务院授权管理的机构 (1 个)：铁路公安局 (公安部十局)。

(3) 中国铁路总公司办公厅与中国共产党中国铁路总公司党组办公室、中国铁路总公司人事部与中国共产党中国铁路总公司党组组织部、中国铁路总公司国际合作部与中国铁路总公司港澳台办公室，为一个机构两块牌子。中国铁路总公司监察局与中国共产党中国铁路总公司党组纪律检查组合署办公。

(4) 总公司直属机构 (4 个)：工程质量安全监督总站、资金清算中心、工程管理中心、档案史志中心。

2) 国家铁路集团有限公司所属企业

(1) 铁路局集团有限公司 (18 个)：中国铁路哈尔滨局集团有限公司、中国铁路沈阳局集团有限公司、中国铁路北京局集团有限公司、中国铁路太原局集团有限公司、中国铁路呼和浩特局集团有限公司、中国铁路郑州局集团有限公司、中国铁路武汉局集团有限公司、中国铁路西安局集团有限公司、中国铁路济南局集团有限公司、中国铁路上海局集团有限公司、中国铁路南昌局集团有限公司、中国铁路广州局集团有限公司、中国铁路南宁局集团有限公司、中国铁路成都局集团有限公司、中国铁路昆明局集团有限公司、中国铁路兰州局集团有限公司、中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司、中国铁路青藏集团有限公司。

(2) 专业运输公司 (3 个)：中铁集装箱运输有限责任公司、中铁特货运输有限责任公司、中铁快运股份有限公司。

(3) 其他企业(17个): 中国铁路建设投资公司、中国铁道科学研究院、中国铁路经济规划研究院、铁总服务中心、中国铁路信息技术中心、中国铁道出版社、《人民铁道》报社、中国铁路专运中心、中国铁路文工团、中国火车头体育工作队、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁银通支付有限公司、中国铁路发展基金股份有限公司、中国铁路国际有限公司、中国铁路财产自保有限公司、中国铁路财务有限责任公司、中国铁路网络有限公司。

国家铁路集团有限公司事业单位(3个): 铁道党校、中国铁道博物馆、铁道战备舟桥处。