

高等学校硕士研究生教材

道路规划与设计原理

詹振炎摇主编

中南大学出版社

代 摇 序

铁道与公路是陆上交通的主体，是国家运输体系的骨干，对发展国民经济、提高人民生活水平、巩固国防安全具有举足轻重的作用。实现交通运输的现代化，关键是科技，基础在教育。作为国家重点学科的我校“道路与铁道工程”学科，担负着为国家培养该领域高素质研究生的任务。规范研究生教学环节，编写高质量的研究生教材，是学科建设的基础性工作，是提高研究生教学质量的重要方面。基于这样的认识，我们陆续组织我校部分资深教授编写了一些硕士生教材。这本教材就是由博士生导师詹振炎教授主持撰著完成的。

本书取材于当前道路规划与勘测设计中的前沿和热点问题，是该领域新技术和新方法的集中体现，反映了该领域最新的标准、规范和研究成果。例如道路通行能力的计算、运量预测和道路设计方案论证的最新发展、高速铁路建设和既有线的提速改造、磁浮轨道交通和城市轨道交通建设等问题，以及作者及其课题组多年研究并在实践中得到推广应用的成果，如快速构建约束阅读数据三角网的理论与方法、道路三维可视化设计和基于数据驱动的道路设计方案的实时动态浏览、铁道线路平纵面优化设计等。其目的在于使研究生能较快地进入学科领域的前沿，并在导师指导下，确定研究方向和论文撰写思路。

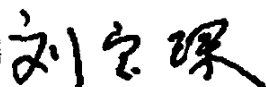
在论述上，本书注重基础理论和基本原理的阐释，并注意理论联系实际，深入浅出，方便学生自学，力求使学生对若干新标准和新规范，不仅知其然而且知其所以然。对于本领域中各种学派的不同观点力求全面客观地予以介绍，并在每章所附的参考文献中列出各学派的具有代表性的论著，以使学生尽早了解本学科当前的研究动态。

以前，铁道工程和公路工程分属于两个不同的学科，两个学科的专业教材自成体系。为适应高等教育改革扩大专业面的要求，1995年教育部将这两个学科合并为“道路与铁道工程”，但由于各校教学上的历史原因，至今还没有一本综合铁道与公路工程内容的适当教材，本书在这方面作了有益的尝试。在内容安排上，本书将铁道工程与公路工程中一些共性的内容结合在一起一并讲授，例如道路规划、数字地面模型、道路平纵横一体化设计和三维可视化设计等内容。而对于铁道与公路中由于运载工具和行车组织方式不同而带来的设计上的特点，则分别讲授，例如高速铁路、城市轨道交通和磁浮轨道交通等；但在基本原理的论述中，仍然注重介绍不同运输方式之间考虑问题的共同

点和差异，并指出其原因，例如各种运输方式设计标准上采用的不同舒适度标准及其比较，公路与铁路线形设计的差异和原因等。

本书是一本颇具特色的研究生教材，也是从事道路与铁道工程专业科技人员的重要参考资料。相信本书的出版发行将为本专业研究生的培养起到极大的促进作用。科技发展日新月异，永无止境。希望本书在使用过程中，不断听取各方面的意见，不断吸收最新的科技成果，使本书再版时得以进一步完善和提高。

向为本教材的编写和出版发行工作倾注了大量心血的所有工作人员表示衷心的感谢。

中国工程院院士
中南大学土木建筑学院院长 摇 

圆年 圆月

前 摇 言

这是一本“道路与铁道工程”学科的硕士研究生专业教材，是在中南大学“振兴行动计划”基金的资助下完成的。目的是加强研究生教学的基础建设，提高研究生培养质量。

本教材是以学生已在大学本科阶段修完《铁路选线设计》或《公路勘测设计》等课程的前提下编写的。它着重论述当前道路规划与选线设计中的热点问题和最新发展，使学生尽早接触学科领域的前沿，在导师指导下，尽快选定研究方向。

本书将铁路与公路勘测设计中一些共性的问题合并讲授，对两者之间由于载运工具和行车组织方式不同而带来的设计上的特点则分别论述，但仍注意到它们之间的对比分析，以使學生获得全面整体的概念。为了表述清晰，本书约定，凡书中所提的“道路”是泛指铁路和公路，如两者要有所区分时，则明确说明是指的铁路或公路。

全书共分九章，基本上是每章论述一个专题，章与章之间既有联系，又可视教学情况，由指导教师选择部分章节讲授。本书在编写过程中，力求理论联系实际，论述中引用的多种新方法、新原理都是在实践中被证明是行之有效的。论述力求深入浅出，说理透彻，便于学生自学，并指出了供进一步探索的参考资料。

本书由中南大学詹振炎主编，具体章节编写由下述老师完成：第二章第七节由张飞璉编写；第三章第一节至第四节由宋占峰编写；第四章第六节和第五章由蒲浩编写；特别荣幸的是，邀请到铁道第二勘测设计院副总工程师、教授级高工林骏撰写了第九章第二节；其余章节由詹振炎编写，缪鯤老师协助编写了第四章第三节，张飞璉老师审校了第二章；研究生王午生、彭利辉、王婉秋也为本书的编写做了大量协助搜集资料、整理书稿等工作；最后全书由詹振炎统一审校完成。

本书在编写过程中，得到了中南大学土木建筑学院领导和本学科领域全体老师的关心和支持，在此深表感谢；此外，在编写过程中，作者还参考了大量的有关教材、论著和资料，在此谨向原编著者表示衷心感谢。

由于编著者水平的局限，书中难免有疏漏、不妥甚至错误之处，恳请读者不吝指正。

编著者

二〇〇九年 月 缘日

— 员 —

目 录

| | |
|-----------------------------|------|
| 第一章 绪论 | (1) |
| 第一节 交通运输的发展 | (1) |
| 第二节 铁路和公路的运输能力 | (2) |
| 第二章 道路规划概要 | (3) |
| 第一节 可行性研究在基本建设中的地位和作用 | (3) |
| 第二节 社会经济调查和预测 | (4) |
| 第三节 铁路客货运量调查和预测 | (4) |
| 第四节 公路交通量调查和预测概要 | (5) |
| 第五节 道路技术标准论证及多目标决策方法在其中的应用 | (5) |
| 第六节 铁路建设项目的经济评价 | (6) |
| 第七节 铁路建设项目后评价 | (6) |
| 第三章 数字地面模型 | (7) |
| 第一节 基本概念 | (7) |
| 第二节 散点数字地面模型 | (8) |
| 第三节 规则格网数字地面模型 | (8) |
| 第四节 三角网数字地面模型 | (9) |
| 第五节 数字地面模型的应用 | (9) |
| 第六节 地理信息系统及其在道路勘察设计中的应用 | (9) |
| 第四章 道路线路的计算机辅助设计 | (10) |
| 第一节 单线铁路线路平面的计算机辅助设计 | (10) |
| 第二节 复线(含预留二线)铁路线路平面的计算机辅助设计 | (10) |
| 第三节 线路平面线形的曲线型设计法 | (11) |
| 第四节 线路纵断面的计算机辅助设计 | (11) |
| 第五节 线路横断面的计算机辅助设计 | (11) |
| 第六节 线路平、纵、横一体化设计 | (11) |
| 第五章 道路线路的三维可视化设计 | (12) |
| 第一节 三维可视化设计的作用 | (12) |
| 第二节 线路三维实体造型 | (12) |

| | |
|---------------------------------|----------------|
| 第三节摇模型视相关简化技术 | (圆园园) |
| 第四节摇真实感图形绘制技术 | (圆园园) |
| 第五节摇基于虚拟现实实现实时动态三维浏览 | (圆园园) |
| 第六节摇数字摄影测量与道路三维可视化设计 | (圆园园) |
| 第六章摇铁路线路纵断面优化设计 | (圆园园) |
| 第一节摇概述 | (圆园园) |
| 第二节摇纵断面优化采用的几种计算方法 | (圆园园) |
| 第三节摇纵断面优化设计的数学模型 | (圆园园) |
| 第四节摇纵断面优化设计的几个具体问题 | (圆园园) |
| 第七章摇铁路线路平、纵面整体优化设计 | (猿园园) |
| 第一节摇设计变量 | (猿园园) |
| 第二节摇平、纵面整体优化的数学模型和优化策略 | (猿园园) |
| 第三节摇目标函数及其梯度计算 | (猿园园) |
| 第四节摇平、纵面整体优化设计的实施 | (猿园园) |
| 第八章摇高速铁路建设与既有线提速改造 | (猿园园) |
| 第一节摇高速铁路发展的回顾与前瞻 | (猿园园) |
| 第二节摇高速铁路设计原则与设计基本参数 | (猿园园) |
| 第三节摇高速铁路平、纵面设计与车站分布 | (猿园园) |
| 第四节摇既有线提速改造 | (猿园园) |
| 第九章摇几种轨道交通线路设计的特点 | (猿园园) |
| 第一节摇城市轨道交通概论 | (猿园园) |
| 第二节摇铁路轮渡设计 | (猿园园) |
| 第三节摇磁浮轨道交通的发展 | (源园园) |

第一章 摇绪摇论

第一节 摇交通运输的发展

交通运输属于国民经济中的第三产业，历来是促进社会经济发展和提高人民生活水平的重要支柱。它的产品是人员的流动和物品的位移，这类产品的特点是：生产和消费同步进行，同时完成，不能存储。因此交通运输产业的运输能力必须具有足够的储备，以应对国民经济的持续增长和突发事件的急需，也为运输行业内部的运行调整提供灵活性。

交通运输由铁路、公路、水运、航空及管道等五种运输方式组成。铁路运输具有运量大、运距长、运费低、安全、全天候运行等优点，是交通运输产业的骨干。公路运输方便、灵活、通达范围广、可实行门到门的服务，它既能独立完成运输任务，又在各种运输方式间起着衔接、换载的作用，是其他运输方式不可或缺的有力补充。水运包括内河运输和远洋运输两类：内河运输具有能耗小、成本低、占地少，对环境污染轻微等优点，但受自然条件限制较大，只有在通航条件的河道才能建设；远洋运输成本低廉，运量大，是我国外贸运输的主渠道，进出口贸易物资的80%以上靠远洋运输完成。现在我国从事国际航运的船舶运力已达1.4亿载重吨，居世界前茅，集装箱船队居世界四强之列。航空运输速度快，载运量小，成本高，适应于长途客运和远距离急需物资、贵重物品、时间性强的防腐保鲜货物的小批量运输。管道运输可分为油管道、气管道、水管道等。水力管道还可用于运送固体货物，如煤、食盐、水泥生料等。近年来，我国管道运输发展较快，到2005年底，全国约有运输管道10.5万 公里，如西气东送、北油南运等便是在建的大型管道工程。管道运输连续性强，运输过程中损耗小，成本低，安全，不占耕地，缺点是不能兼容客运，货运物资的品种也受到局限。

上述五种运输方式各具特色，各有所长，它们在国民经济的交通运输体系中占据着各自的地位，形成了全国的综合运输网络。如不包括远洋运输，2005年五种运输方式在运输市场所占有的份额如表 1-1 所示。在进行交通运输规划时，要注意发挥综合运输体系的效益，做到物畅其流，人员出行方便。

表 1-1 2005年各种运输方式在运输市场所占有的份额(豫)

| 运输方式 | 铁路 | 公路 | 水运 | 航空 | 管道 |
|-------|-------|-------|------|------|------|
| 客运周转量 | 45.2% | 54.8% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 货运周转量 | 1.2% | 98.8% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |

摇摇注：不含远洋运输

应当指出的是，这五种运输方式，除了有互相补充、协调配合的一面以外，还在彼此衔接交叉的领域存在着激烈的竞争。其中远洋运输主要是参与国际竞争，不存在与国内运输行业的竞争问题。管道运输因其领域特点，与别的运输方式竞争较小。其余几种运输方式都存在着不同程度的竞争，有时竞争还是相当激烈的。表 1-1 是 1979 年至 1984 年十年间各种运输方式运输量的年均增长百分数。由表 1-1 可见，在 20 世纪的最后十年，我国民航的客、货运输呈现出飞速发展的局面，这从一个侧面反映了人民生活水平的提高。公路运输的年均增长也在全国平均水平之上，这主要是由于高速公路和高等级公路的建设以及公路服务水平的提高，吸引了较多的客、货运量。相对而言，铁路发展较慢，其客、货运量的增长均在全国平均数以下，单就客运而言，虽然铁路客运周转量 1979—1984 年总体呈现增长，累计增长 191.4 亿人·吨，增加 2.3 倍，年均增加 38.6%，但在运输市场中的份额却下降了约 10%。面对这一严峻的形势，铁道部采取了修建高速客运专线，既有线提速改造，开行“夕发朝至”、“一日到达”等多种列车，提高服务质量等多种措施，基本上遏止了市场份额下滑的局面。当前竞争的焦点越来越集中在运输质量、运输效率和服务水平上。这种竞争，带来了各种运输方式的技术创新和管理进步，也优化了全国交通运输产业的资源配置，使其得到全面的技术进步和运营管理水平

表 1-1 1979—1984 年各种运输方式运量年均增长百分数(豫)

| | 铁路 | 公路 | 水运 | 航空 | 管道 | 全国年均增长 |
|-------|------|------|----|------|----|--------|
| 客运量 | 1.8% | 2.5% | 原 | 1.8% | 原 | 1.5% |
| 客运周转量 | 3.8% | 2.5% | 原 | 1.8% | 原 | 1.5% |
| 货运量 | 1.8% | 2.5% | 原 | 1.8% | 原 | 1.5% |
| 货运周转量 | 1.8% | 2.5% | 原 | 1.8% | 原 | 1.5% |

资料来源：1985 年中国统计年鉴

随着我国加入 WTO 后国民经济的进一步发展和西部大开发战略的实施，预计到 2010 年全社会客运量将达到 100 亿人次，年均递增 2.5%，货运量将达到 150 亿吨，年均递增 2.5%，这就为交通运输企业提出了更高的要求，也使五种运输方式都获得了进一步发展的历史机遇。

到 2005 年底，我国铁路营业里程已达 7.5 万公里，居亚洲之首，仅次于美国、俄罗斯、加拿大三国，列世界第四位。2005 年完成客、货周转量分别为 191.4 亿人·吨和 191.4 亿吨·吨，铁路承担的运输强度平均为 1.8 万吨·吨/公里，其运用效率位居世界第一，是美国的 2.3 倍，是俄罗斯的 1.8 倍。“十五”期间，我国铁路将继续扩大规模，加快西部铁路建设，加大既有线提速改造力度，建设青藏铁路格拉段和京沪高速铁路等一批标志性工程，建成京广、京哈等若干条在我国交通运输中起骨干作用的大能力铁路通道，强化八纵八横路网主骨架。八纵线路[图 1-1]是：①京哈通道(北京—哈尔滨—满洲里)。②沿海通道(沈阳—大连—烟台—上海—宁波—厦门—广州—

湛江)。③京沪通道(北京—上海)。④京九通道(北京—南昌—九龙)。⑤京广通道(北京—武汉—广州)。⑥大湛通道(大同—洛阳—益阳—柳州—湛江)。⑦包柳通道(包头—西安—重庆—柳州—南宁)。⑧兰昆通道(兰州—成都—昆明)。八横线路[图 员原园(遭)]是：①京兰通道(北京—呼和浩特—兰州—拉萨)。②煤运北通道(大同—秦皇岛，神木—黄骅)。③煤运南通道(太原—德州，长治—济南—青岛，侯马—新乡—日照)。④陆桥通道(连云港—兰州—乌鲁木齐—阿拉山口)。⑤宁西通道(西安—南京—启东)。⑥沿江通道(重庆—武汉—芜湖—南京—上海)。⑦沪昆(成)通道[上海—怀化—贵阳—昆明(怀化—重庆—成都)]。⑧西南出海通道(昆明—南宁—湛江)。圆原年元月国务院批准了《中长期铁路网规划》，标志着中国铁路新一轮大规模建设即将展开。目标是：到 圆原年中国铁路营业里程将达 员万 噪，主要繁忙干线实现客货分线，复线率和电气化率均达到 缘豫。建设客运专线 员圆万 噪以上，建立环渤海地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区三个城际快速客运系统。以扩大西部路网规模为主，规划建设新线约 员远万 噪，形成西部铁路网骨架，完善中、东部铁路网结构，提高对地区经济发展的适应能力。形成西北、西南进出境国际铁路通道，西北至华北新通道，西北至西南新通道，西北至西南新通道和新疆至青海、西藏的便捷通道，加强既有路网技术改造和枢纽建设，提高路网既有通过能力，规划既有线增建二线 员圆万 噪、既有线电气化 员远万 噪。主要技术装备达到或接近国际先进水平。

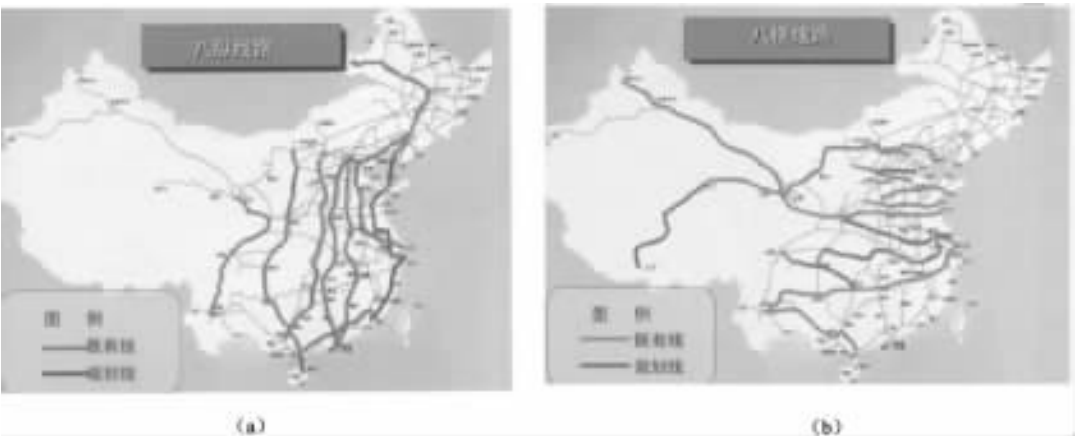


图 员原圆 八纵八横铁路主干线

改革开放以来，我国公路得到前所未有的发展，员怨—圆园年公路建设总投资 员圆亿元，通车里程由 员怨年的 员万 噪猛增到 圆园年底的 员圆愿万 噪，增幅 源豫，并实现了县县通公路，公路技术标准也有显著提高。高速公路通车总里程由 员怨年的 源万 噪增加到 圆园年底的 员圆愿万 噪，增幅 远豫，从世界第 猿位跃居第 圆位。到 圆园年，公路承担的客、货运量分别为 员圆亿人次(怨豫) (括号中的百分数为占全国运输市场的份额)和 员圆亿 噪(怨豫)，承担的客、货周转量分别为 远亿 噪(怨豫)和 远亿 噪(怨豫)；但与发达国家相比，我国公路仍存在着

路网密度低、通达深度不够、发展不平衡、东西部差距大等缺陷，随着工业化进程加快，产品生产更加社会化和专业化，更加深了公路运输不适应社会发展的矛盾。目前我国国道网平均车速仅为 40 公里/小时，年人均出行里程仅为 1 万公里，只有美国的 10 倍、日本的 5 倍。可以预见，今后我国公路旅客运输的增量、小汽车的增量将是持续而明显的，对公路基础设施的数量、质量的要求也将随之愈来愈高。为此交通部在 1995 年就制定了交通发展长远规划，其中公路网主骨架由五纵七横 12 条线路组成。五纵线路是：①同江—三亚（全长 4000 公里），②北京—福州（全长 2100 公里），③北京—珠海（全长 2000 公里），④二连浩特—河口（全长 1500 公里），⑤重庆—湛江（全长 1500 公里）；七横线路是：①绥芬河—满洲里（全长 1500 公里），②丹东—拉萨（全长 1500 公里），③青岛—银川（全长 1500 公里），④连云港—霍尔果斯（全长 1500 公里），⑤上海—成都（全长 1500 公里），⑥上海—瑞丽（全长 1500 公里），⑦衡阳—昆明（全长 1500 公里）。其中在“十五”期间重点建成同江—三亚、北京—珠海、连云港—霍尔果斯、上海—成都两纵两横共四条主干道和北京—沈阳、北京—上海、重庆—北海共三个路段，这两纵两横和三个路段将贯穿 12 个省、自治区、直辖市，连接 15 多个大中城市，占五纵七横 12 条国道主线总里程的 1/3。预计到“十五”末期，中国公路总里程将达到 150 万公里，其中，高速公路由 1 万公里增加到 3 万公里，二级以上公路由 10 万公里增加到 15 万公里。建成公路枢纽基础设施 100 个，使公路对国民经济发展的适应条件得到明显的改善。根据全国全面建设小康社会的新任务新要求，交通部正组织研究修订和补充交通发展战略和长远规划，包括“国家高速公路网规划”、“农村公路发展规划”、“加快西部地区公路发展总体规划”等。根据规划，我国将建成布局为“放射型”的高速公路网络，即：7 条射线（以北京为中心）、8 条纵线和 5 条横线，总里程约 10 万公里，将连接所有现状人口在 100 万以上的 100 个城市。建成长三角、珠三角、环渤海经济区等三大都市圈内部的城际高速公路网。要拿出专项资金用于县级和农村公路的建设，重点将抓好县乡公路的改造，使之成为柏油路或水泥路。为全面建设小康社会、适应人民群众出行的需求提供更通畅、更安全、更便捷的交通运输条件。

到 2005 年底，我国水运营业里程已达 10 万公里。水运的基础设施是泊位和码头。供一艘船靠泊的码头长度称为一个泊位。泊位以能够在其上靠泊作业的船舶吨级来区分，例如万吨级泊位就是指可以停靠万吨级轮船的泊位。泊位的长度取决于设计船舶的长度和船舶间的安全间距。码头长度又取决于在其上所布置的泊位数和泊位长度。每个泊位或码头都有其通过能力，这些能力的总和就构成一个港口的通过能力。表示港口通过能力的指标是港口吞吐量，它分为货物吞吐量和旅客出口量。货物吞吐量是货物经由水路进出港口，并在港口进行装卸作业的货物数量。旅客出口量是指由本港码头乘船出港的旅客人数。截至 2005 年底，我国沿海港口泊位已达 1000 个，其中万吨以上深水泊位 100 个，内河港口有泊位 10 万余个，其中万吨级泊位 100 个。集装箱和滚装船等现代化运输系统有了较大发展。发挥海运运费低廉的优势，发展沿海运输，运送能源、原材料等大宗货物，是解决我国陆路运输能力紧张的良好抉择，例如位于大秦铁路终端的秦皇岛港就是世界上最大的煤运港口。至 2005 年底，我国主要港口的年吞吐量已达 10 亿吨。其中上海港已进入世界亿吨大港行列，国际集装箱年吞吐量已达 1000 万标准箱。

内河航运的能力受航道自然条件的限制，在我国的几种运输方式中是一个相对薄弱的环节。根据通航要求，我国内河航道分为 Ⅰ 级，如表 1-1 所示。

表 1-1 我国内河航道分级表

| 航道等级 | 航驳船吨级 | 通枯水期最小航道尺寸(皂) | | | | | 桥梁净空(皂) | | |
|------|-------|---------------|-----|------|-----|-----|---------|------|-----|
| | | 天然及渠化河流 | | 人工运河 | | | 净跨 | | 净高 |
| | | 浅滩水深 | 底宽 | 水深 | 底宽 | 曲度 | 天然河道 | 人工河道 | |
| Ⅰ | 1000 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Ⅱ | 500 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Ⅲ | 300 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Ⅳ | 100 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Ⅴ | 50 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Ⅵ | 20 | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

近年来以整治提高航道为重点，集中力量建设了长江干线、西江干线、京杭运河(济宁—杭州)水运通道和长江、珠江三角洲航道网，形成了“两横一纵两网”的贯通格局，发展干支直达、江海直达运输。特别是 1982 年长江三峡的蓄水成功，使万吨级船队可直达重庆，长江年航运能力达到 1 亿吨，使这条黄金水道川江段的面貌焕然一新。

民航的运输能力体现为航线和航班数量，它主要受机场跑道数量和规模以及机场其他设施的限制。应当说明的是我国民航事业的基础是十分薄弱的。1949 年 11 月 2 日“两航”起义(国民党政权下的中国航空公司和中央航空公司简称“两航”)，从香港飞回 10 架飞机，加上随后组织“两航”机务人员修复的国民党遗留在大陆的 10 架飞机，构成了新中国民航事业创建初期飞行工具的主体。1950 年，中国民航购买了苏联伊尔 14 型飞机，从使用活塞式螺旋桨飞机开始过渡到使用涡轮螺旋桨飞机；1952 年，又购买了英国的子爵号飞机，从而结束了建国初期只使用苏制飞机的历史。伴随着国际交往的扩大和国际航线的开辟，中国民航于 1956 年从美国购买了 10 架波音 707 飞机，标志着我国开始采用国际先进机型进行装备的改善。改革开放后，为改变中国民航运输机群落后于先进国家的状况，中国民航加速机型更新，1980 年，购买了波音 707 型宽体客机，1982 年又购买了波音 737 型、波音 737 和 737 型客机。1983 年，缘架 737 落户上海，使中国民航使用的运输飞机同国际民航先进水平的差距进一步缩小。为适应发展航空运输对运力的需求，20 世纪 80 年代初，中国民航加快飞机引进和更新换代的步伐，采取多种融资方式添置或租赁运输飞机，使机队规模不断扩大，运输能力大为提高。到现在中国民航直接用于运输服务的各类机型飞机已达 1000 余架，其中在中、短途客货运输服务中，有我国自行制造的运 7 型飞机 100 余架。全国航线总数达到 1000 条，包括 100 条国际航线，飞达 100 个国家的 100 个城市。100 个国家和地区的 100 家航空公司从境外 100 个城市飞达中国 100 个城市。已基本形成连接除南美洲以外通达世界各地的直达国际航线网络，形成了快速、便利的国际航空运输业，促进了中外友好往来和改革开放事业的发展。

但是我国民航事业在计划经济体制下，长期处于半军事化管理的模式，随着市场经济的发展，这种模式日益显露出运营机制呆板、效率低下的弊端，致使航空运输企业经济效益大面积滑坡。1985年，民航首次出现全行业亏损，亏损额高达10.8亿元，其后虽然几经采取措施，但直到1994年上半年，全行业亏损额仍达12.9亿元人民币。为了扭转这种被动局面，并适应我国加入WTO后国内民航市场对外开放、竞争更加激烈的需要，1994年10月中国民航总局将其属下各航空公司合并重组为中国航空集团公司、东方航空集团公司和南方航空集团公司等三大航空集团公司，这有利于优化资源配置，实现优势互补，发挥规模效应，壮大企业参与市场竞争的实力。1995年中国民航基础设施建设投资154亿元人民币，全行业完成运输总周转量15.9亿吨公里、旅客运输量1.8亿人次、货邮运输量1.2万吨，分别比上年增长1.5%、1.8%和1.8%。

目前中国航空市场规模只占世界市场10%的比重。据预测，未来10年，中国航空运输将保持12%的增长率，是世界平均增长水平的两倍，将会成为世界上航空运输最富有潜力的地区，中国市场对外国航空公司具有很大吸引力，再加上当今世界民航业的不景气，外国航空公司将以各种形式更多地进入我国航空运输市场。因此当前中国民航既存在着难得的机遇，也面临严峻的挑战，积极构建中国民航未来开放发展的框架，以迎接外国航空企业的竞争，显得尤为重要。相信经过整合重组后的中国民航，在机务调配和维修、技术力量培训、减少航材储备、合理调配运力、提高飞机利用率等方面都将发挥出综合效应。这对于扩大经营规模，降低成本，提高航空运输主业竞争力，将起到重要作用。

第二节 摇铁路和公路的运输能力

交通运输产业的运输能力是国家无形的战略资源，对国民经济建设、社会的发展和国防应变的能力具有十分重要的意义。由于运输产品(货物或人·吨)不能事先储存，运输能力必须有一定的储备，这种储备是为了应对①突发事件(灾害、战争)的需要，②路网中邻接线路的互相调剂分流(例如邻线的大修封闭)，③适应本线的运量波动和运营组织的调整(例如列车晚点的调整)。但能力储备是要依靠相应的技术标准和技术装备来保证的，储备过大，技术标准过高，技术装备过强，就意味着资金的积压和资源的浪费。

铁路与公路是陆上交通的主体，以下分别阐述铁路和公路的运输能力与主要技术标准。

一、铁路能力与主要技术标准

铁路能力包括铁路通过能力和输送能力，由列车质量(对客运专线为列车编挂辆数)、行车速度和通过能力三要素确定。它们与线路固定设备标准、移动设备类型和运输组织方式密切相关。设计铁路时，应以满足运输需求为目标，在线路固定设备标准、移动设备类型和运输组织方式三者之间，权衡利弊得失，选择三者之间经济、合理的匹配，以期得到理想的设计技术方案。

(一) 列车质量

铁路新线设计时，货物列车质量一般是按单机牵引列车，在限制坡道上以计算速度作等速直线运行来确定。因此货物列车质量直接与牵引种类、机车类型、限制坡度有远

关,此外还受车钩强度、到发线有效长和列车在陡长下坡地段制动能力的限制,对此在铁路选线设计课程中已有详细论述,这里不再讨论。客运专线上的旅客列车编挂辆数由客车类型决定。我国普通铁路长途客车编挂辆数可达 20 辆,列车质量约为 4000~5000 吨,要求旅客列车到发线和整备检修线有效长为 250 米,新近开发的多种旅客列车动车组,其编组固定,长度均不超过 200 米。

(二)通过能力

通过能力是指一昼夜间往返运行的列车对数。通过能力的大小取决于区间的往返走行时分、车站间隔时分和运行图类型,按下式计算:

$$N = \frac{24 \times 60}{T_z} \times Z - \Delta \text{贼} \quad (1)$$

式中 N ——通过能力(对辆)或(列辆);

T_z ——运行图周期(分钟),包括区间走行时分和车站间隔时分;

Z ——一个运行图周期内所包含的列车对数或列数;

$\Delta \text{贼}$ ——维修天窗时间。

区间走行时分可以是往返走行时分,也可以是单方向走行时分。车站间隔时分有不同同时到达间隔时分、会车间隔时分、连发间隔时分和追踪间隔时分,视采用的运行图不同而分别选取。图 1 给出了几种有代表性的运行图及其周期计算示意。由式(1)可见,区间走行时分是决定通过能力的关键。影响区间走行时分的因素有:

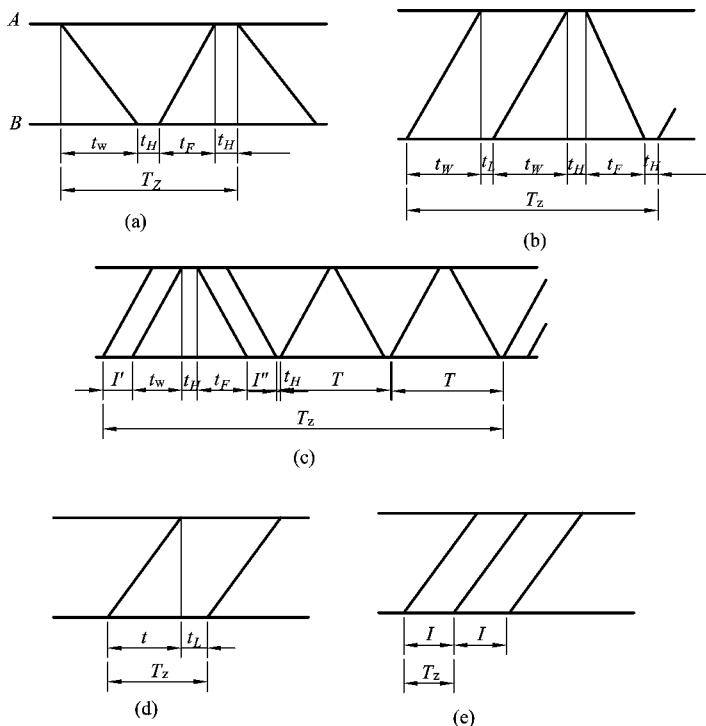


图 1 单线平行成对、单线平行不成对、单线部分追踪、双线连发、双线追踪运行图周期示意图

二、正线数目

双线铁路采用分方向连发运行，走行时分只计单方向运行时分，故可大大提高通过能力。若采用双线自动闭塞，将连发运行变为追踪运行，双线铁路通过能力可为单线铁路的 1.5 倍。近来修建的高速客运专线都是一次建成的复线铁路，其追踪间隔时分为 3 分钟，其通过能力是十分可观的。

三、车站分布

车站分布愈密，往返走行时分愈短，通过能力也愈大。但车站分布过密，增加停站作业时分，也会降低通过能力和行车效率。故车站分布不能过密也不能过稀，《铁路线路设计规范》(以下简称《线规》)规定：新建铁路的站间距离，单线不宜小于 1000m，双线不宜小于 1500m，枢纽内不得小于 500m。关于车站分布的原则和方法，请见铁路选线设计教材。

四、闭塞方式

采用先进的信联闭设备压缩车站间隔时分，有效地组织列车追踪运行，是提高通过能力的重要手段。现在单线铁路大多采用半自动闭塞，双线铁路采用自动闭塞并采用追踪运行，通过能力得以大幅度提高。

采用先进的调度集中装置也是提高通过能力的有力措施。调度集中是列车调度员在调度所通过遥信和遥感设备，集中监视和直接控制区段内各车站的道岔和信号机，办理进路、组织和指挥列车运行，不仅可以缩短车站间隔时分，提高通过能力，而且使行车安全更有保障。

为了提高自动闭塞区段的行车速度，将三显示自动闭塞改为四显示自动闭塞是一个有效的办法。四显示自动闭塞较之三显示增加一个闭塞分区及绿黄信号，使高速列车得以在两个闭塞分区的长度内制动停车，从而可以安全、放心地提高行车速度。同时四显示自动闭塞可将追踪间隔时间缩短到 3 分钟，大大提高双线铁路通过能力。

在高速列车的机车驾驶室内，装设无线机车信号系统，使司机在驾驶室内即可获得行车调度指令，同时该系统还兼有列车速度控制和自动停车功能，可进一步保障行车安全，提高通过能力。

五、行车速度

行车速度直接影响区间走行时分，从而影响通过能力。因此所有与行车速度有关的技术装备和措施都是影响通过能力的因素。铁路技术装备分为移动设备和固定设备两大类。移动设备主要指的是机车车辆，它们的性能直接关系到行车速度的高低。固定设备主要指的是线、桥、隧等设备，它们的设计标准和设计参数是保证行车速度的前提，现分述如下：

(一) 机车车辆性能

机车车辆的构造速度是限制行车速度的直接原因。我国铁路的旧式机车车辆一般构造速度不大于 120km/h，仅适用于速度不高的山区铁路。近来研制的 200km/h 型和 250km/h 型电力、内燃型内燃快速机车，高速型快速客车等新型机车车辆构造速度都超过了 120km/h，研制的“中原之星”和“中华之星”动车组构造速度超过了 200km/h。

行车速度愈高，牵引单位质量所需的机车功率就愈大。据《既有铁路提速》一书提供的资料，当速度由 120km/h 提高到 160km/h 时，每吨列车质量所需功率约为 1.5 倍~1.8 倍，当速度由 160km/h 提高到 200km/h 时，所需功率约为 2.5 倍~3 倍。

员原吨时,约为 猿缘-猿缘,当增.越员吨时,约为猿缘-源原.当行车速度达 员吨以上时,此项指标将呈指数形式增长。表 员原是各国时速大于 员吨高速动车组每吨列车质量的功率,由表可见,当增.越员吨时,约为猿缘-猿缘。当行车速度达 猿吨以上时,每吨列车质量所需功率将超高 员。

列车的制动性能也是制约行车速度的重要因素。按制动距离为 员、每百吨列车闸瓦压力 运越计算,制动限速达不到 员,不能满足铁路提速的要求。为此铁道部组织力量开发了旅客列车盘形制动、电空制动、电子防滑器等新型制动装置,使快速列车及动车组在 员速度下的紧急制动距离达 员,保证了行车安全。

表 员原 各国高速列车单位牵引质量功率表(吨)

| 国别 | 机型 | 编组 | 最高速度(吨) | 列车质量(吨) | 总功率(吨) | 单位质量功率(吨) |
|----|------|----|----------|----------|---------|------------|
| 日本 | 猿系 | 员垣 | 猿 | 苑 | 员 | 员 |
| | 缘系 | 员 | 猿 | 苑 | 员 | 员 |
| 法国 | 猿原孕 | 员垣 | 猿 | 源 | 远 | 员 |
| | 猿原粤 | 员垣 | 猿 | 源 | 愿 | 员 |
| | 猿原耘 | 员垣 | 猿 | 苑 | 员 | 员 |
| | 猿原在 | | 猿 | 源 | 愿 | 员 |
| | 猿原匝 | | 猿 | 源 | 愿 | 员 |
| 中国 | 中华之星 | 员垣 | 猿 | 远 | 怨 | 员 |

(圆) 固定设备的技术标准

直接与行车速度有关的线路设备标准主要是:曲线半径、缓和曲线长度、夹直线和夹圆线长度、轨道结构、道岔类型、双线铁路的线间距、线路坡度、路基状态和平交道口防护等。其中曲线半径、缓和曲线长度、轨道结构和道岔类型是限制行车速度最主要的因素,曲线半径和缓和曲线长度与速度的关系如下:

① 普通客货共线铁路:

$$\text{摇摇摇摇} \frac{\text{员愿}}{\text{[噪] 垣 噪}} \quad (\text{员原圆})$$

② 高速铁路:

$$\text{全高速运行时: 砸越} \frac{\text{员愿}}{\text{[噪] 垣 噪}} \quad (\text{员原猿})$$

$$\text{高、中速客车共线运行时: 砸越} \frac{\text{员愿 增 (原增)}}{\text{[噪] 垣 噪}} \quad (\text{员原原})$$

以上三式中:增、增、增——最高行车速度、货车速度、中速客车速度(吨);

[噪]、[噪]、[噪]、[噪 垣 噪]——允许最大超高、允许欠超高、允许过超高、允许欠过

超高之和(皂皂)。

铁路缓和曲线长度主要受两种条件制约：

(员) 欠超高的时变率不超过允许值。按此条件缓和曲线长度公式为：

$$L = \frac{v^3}{15.7 \cdot [a]} \quad (1)$$

式中： v ——圆曲线设计欠超高(皂皂)；

$[a]$ ——允许欠超高时变率(皂皂/秒)。

(圆) 超高时变率不超过允许值。按此条件缓和曲线长度公式为：

$$L = \frac{v^3}{15.7 \cdot [b]} \quad (2)$$

式中： v ——圆曲线设计超高(皂皂)；

$[b]$ ——允许超高时变率(皂皂/秒)。

以上五式中， $[a]$ 、 $[b]$ 、 $[c]$ 和 $[d]$ 四个参数的取值都和旅客乘车的舒适度有关，《线规》和《京沪高速铁路设计暂行规定》(以下简称《京沪暂规》)规定的 $[a]$ 和

$[d]$ 标准如表 1 按每 1 皂皂欠超高相当于旅客承受的加速度为 $\frac{1}{1000}$ 早计(式中

1000 为两钢轨间距，早为重力加速度)，我国铁路以重力加速度 早为单位的舒适度标准也列入表 1 由表可见，我国铁路在一般情况下，加速度的舒适度标准为 $0.1 \sim 0.2$ 早，困难情况下，也不大于 0.2 早，加速度时变率的舒适度标准一般为 $0.1 \sim 0.2$ 皂皂/秒左右。

表 1 我国铁路的舒适度标准

| 舒适度标准 | | 欠超高允许值[皂皂] (皂皂) | | | 超高时变率允许值[皂皂/秒] (皂皂/秒) | | |
|-------|-------------|--------------------|-----|-----|--------------------------|-----|-----|
| | | 良好 | 一般 | 较差 | 良好 | 一般 | 较差 |
| 线规 | 以皂皂或皂皂/秒为单位 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| | 以早或早/秒为单位 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| 京沪暂规 | 以皂皂或皂皂/秒为单位 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| | 以早或早/秒为单位 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |

注：早为重力加速度(皂皂/秒)

(三) 输送能力

对客货共线的普通铁路而言，铁路输送能力是铁路单方向每年能运送的货物吨数。设计线各设计年度的输送能力不得小于经济调查或预测所得到的相应年度的货运量。

货物运输能力按下式计算：

$$Q = \frac{v \cdot \rho}{1000} \quad (3)$$

式中 $\rho_{\text{折}}$ ——折算的货物列车对数(对轴)；

$\rho_{\text{普}}$ ——普通货物列车净载重(吨)；

β ——货运波动系数，由经济调查确定，通常取 1.5~2.0

以上介绍的铁路通过能力和输送能力是铁路线路所具备的运输能力，它是铁路能力的基础，此外铁路能力还受编组站解体、编组能力和牵引变电所供电能力等因素的限制，这些能力要与线路能力相匹配，以发挥整个铁路的综合效益。

对客运专线而言，铁路运输能力是铁路单方向每年能运送的旅客人次，可按下式计算：

$$P_{\text{客}} = \sum_{i=1}^n \rho_{\text{客}i} \cdot \rho_{\text{定}i} \quad (\text{万人次/年}) \quad (1.10)$$

式中： $\rho_{\text{客}i}$ ——第 i 种类型旅客列车每天开行的对数；

$\rho_{\text{定}i}$ ——第 i 种类型旅客列车的定员数。

二、公路通行能力

(一)概述

公路通行能力是公路规划、设计及交通管理等方面的重要参数，它是在一定公路条件和交通条件下，单位时间内一条车道或公路某一断面所能通过的车辆的极限数，是公路所具有的一种“能力”。当公路上的实际交通量小于其通行能力时，交通密度较小，车辆处于自由行驶状态，驾驶员可按其意志操纵车辆行驶，车速较高，能实行超车；当公路上的实际交通量接近或等于通行能力时，行驶的车辆出现队列行驶现象，车头时距分布接近均匀，且接近最小数值；当公路上的实际交通量超过通行能力时，行驶车辆密度过大，出现交通拥挤或阻塞停滞现象。

研究公路的通行能力，对于现有公路功能的评价、确定公路改建方案、设计与通行能力相适应的公路交通设施、改进交通管理和控制方式、规划新建公路及选择交叉口型式等都具有重要意义。

通行能力按车流状态不同可分为连续车流和间断车流的通行能力。前者指两交叉口之间的路段通行能力，后者指交叉口及匝道出入口的通行能力。本节只研究连续车流的通行能力。

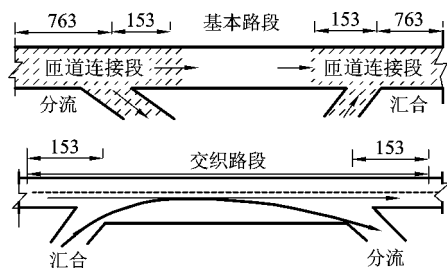


图 1.10 公路三种路段的区分示意图

从通行能力角度分析，公路可分为三种路段(图 1.10)：

1. 交织路段：两条或两条以上的车流合并成一条，沿公路行驶一定长度，并穿过彼此车行路线的路段。交织路段一般由汇合区和分流区组成，汇合点上游 153m 处为交织路段起点，分流点下游 153m 处为交织路段终点。

2. 匝道连接段：驶入或驶出公路的匝道连接点前后的一段区域称为匝道连接段。对驶入匝道而言，匝道连接段是指连接点上游 153m 处至下游 763m 处的范围，对驶出匝道而言，是指连接点上游 763m 处至下游 153m 处的范围。