

高等学校教学参考书

交 通 运 输 设 备

北方交通大学 佟立本 主编
北方交通大学 钱仲侯 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1997年 · 北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共二篇十一章,介绍了交通运输设备的基本知识。内容包括:铁路线路、车辆、机车、信号及通信设备、高速铁路与重载运输等。书中对公路、水路、航空、管道运输设备也作了概要介绍。内容结合实际,文字通俗易懂。

本书可作为高等学校铁路运、机、工、电等专业的本科及研究生教材,也可供铁路部门以及其它运输部门的干部、职工学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通运输设备/佟立本主编.-北京:中国铁道出版社,1997
高等学校教学参考书

ISBN 7-113-02701-6

.交... .佟... .交通运输-运输工具-高等学校-教
学参考资料 .U

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11564 号

高等学校教学参考书

交通运输设备

北方交通大学 佟立本 主编

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑 程东海 封面设计 翟 达

北京市彩桥印刷厂印

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 插页:1 字数:383 千

1997 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN7-113-02701-6/U·749 定价:20.80 元

前 言

现代化交通运输主要包括铁路、公路、水路、航空和管道五种运输方式,各具有不同的技术经济特征与使用范围。随着科学技术进步和社会需求的变化,各种运输方式的技术装备和组织工作不断更新,技术经济性能和应用也在不断变化,为了便于从事交通运输工作的广大干部和大专院校师生,对其有一个比较全面、系统而又概要地了解,我们编写了这本《交通运输设备》。本书着重讲清有关的基本知识、基本概念和基本原理。

本书由佟立本担任主编。参加编写的人员有:佟立本(绪论、第一篇第一、四、七章)、祝静茹(第一篇第二、三章)、魏世隆(第一篇第五、六章)、袁振洲(第二篇第一、二章)、毛保华(第二篇第三、四章)。钱仲侯担任主审。

由于本书涉及的内容较为广泛且篇幅有限,尽管我们在编写过程中不少章节都数易其稿,但限于编者水平和时间,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编 者

1997.1 月于北方交通大学

目 录

绪 论.....	1
----------	---

第一篇 铁路运输设备

第一章 铁路线路.....	5
第一节 铁路线路的平面和纵断面.....	5
第二节 路基和桥隧建筑物	12
第三节 轨 道	18
第四节 限 界	29
第五节 线路的养护与维修	30
第二章 铁路车辆	33
第一节 铁路车辆的基本构造	33
第二节 车辆标记和车辆技术参数	49
第三节 车辆的检修	51
第三章 铁路牵引动力	56
第一节 牵引动力概述	56
第二节 内燃机车	58
第三节 电力牵引	70
第四节 机车的检修和运用	77
第四章 铁路车站	84
第一节 中 间 站	85
第二节 区 段 站	88
第三节 编 组 站	92
第四节 铁路枢纽.....	100
第五章 信号设备与控制.....	105
第一节 信 号.....	105
第二节 联锁设备.....	112
第三节 闭塞设备.....	124
第四节 调度集中及机车信号.....	131
第六章 通信设备.....	138
第一节 铁路通信的分类.....	138
第二节 几种主要通信设备.....	139
第七章 高速铁路与重载运输.....	148
第一节 高速铁路.....	148

第二节 重载运输..... 166

第二篇 其它交通运输设备

第一章 公路运输设备..... 172

第一节 公路运输概述..... 172

第二节 公路线路..... 173

第三节 高速公路..... 189

第四节 汽车的种类与构造..... 194

第二章 水路运输设备..... 200

第一节 水路运输概述..... 200

第二节 港口..... 201

第三节 船舶种类与构造..... 206

第四节 航道和航标..... 212

第三章 航空运输设备..... 216

第一节 航空运输概述..... 216

第二节 飞机基本构造和技术参数..... 217

第三节 机场设备..... 225

第四节 航线与管理技术..... 230

第四章 管道运输设备..... 234

第一节 管道运输概述..... 234

第二节 输油管道运输设备..... 235

第三节 天然气管道运输设备..... 240

第四节 固体料浆管道运输设备..... 243

参考文献..... 245

绪 论

交通运输是国民经济的重要组成部分,它既为满足工农业生产和人民生活的需要,也对联系城市与乡村、加强国防、促进地区之间的文化和信息交流起着重要作用。

交通运输是国民经济结构中的先行和基础产业,是生产过程在流通过程中的继续,是独立的物质生产部门,它参与社会物质财富的创造。运输生产的产品不改变劳动对象的性质和形态,而只改变其在空间的位置——位移,以运送旅客所产生的人公里和运送货物所产生的吨公里计量。

现代化交通运输主要包括铁路、水路、公路、航空和管道五种运输方式,各有其不同的技术经济特征与使用范围。随着科学技术进步和社会需求的变化,各种运输方式的技术装备和组织工作不断更新,技术经济性能和使用范围也在不断变化,各种运输方式必须综合协调发展,充分发挥各种运输方式的优点,扬长避短,不仅可以最大限度地节省运输建设投资和运输费用,而且为各种运输方式的加速发展,不断更新技术和提高服务质量提供条件。

铁路运输是一种现代陆地运输工具。自 1825 年从英国的斯托克顿至达林顿修建第一条铁路以来,至今已有 170 多年的历史。此后,美国、法国、加拿大、俄国、意大利、德国等也先后兴筑铁路。它是各种现代化运输方式中资格较老的成员。目前,世界铁路总长度约为 120 万 km 左右。从地理分布上看,美洲铁路约占全世界铁路总长的 50%,欧洲约占 1/3,而非洲、澳洲和亚洲总共只占 1/6 左右。很明显,世界铁路的发展情况是极不平衡的。

1876 年的吴淞铁路是中国领土上出现的第一条铁路。它是英国侵略者背着中国政府和中国人民,采用欺骗和蒙混的手法修筑的。这条铁路从上海至吴淞,全长约 15km,轨距为 0.762m 的窄轨铁路,在 1876 年 7 月部分通车营业。后因国人反对,迫使英国侵略者同意,由清朝政府用白银 28.5 万两将铁路收买回来,但是,当时的清政府竟把已买回的吴淞铁路拆毁。

铁路运输的产生标志着社会生产力达到了一个新的水平,它是随着社会生产发展的需要而产生、发展和完善起来的,并又对社会生产力的发展起着积极的推动作用。因此,从 19 世纪下半叶到 20 世纪 20 年代出现了世界性筑路高潮。在工业发达国家中,铁路运输占有十分重要的地位,在其他各种运输方式中铁路承担的客货运输量最多,可以说这一时期是铁路的“黄金时代”。后来,由于工业发达国家在第一次世界大战以后,加快了公路、水路运输、航空、管道建设,动摇了铁路运输先前的地位。有些国家铁路运量下降,连年亏损,甚至被迫封闭或拆除部分线路。但是,在剧烈竞争面前,各国铁路部门努力更新技术,提高行车速度和客货运输的服务设施,采用先进的大功率内燃机车和电力机车取代蒸汽机车以及其他科学技术,使铁路运输增添了新的活力,从而,使铁路适应了大量增长的运输需求。60 年代初又出现了城市间旅客列车高速化的热潮。1964 年日本修建了世界上第一条由东京至大阪的现代化高速铁路线,全长 515km,最高时速达到 210km,成为铁路旅客运输新技术的代表。法国在 1981 年建成了它的第一条高速铁路(TGV 东南线),列车时速达到 270km;后来又建成了 TGV 大西洋线,时速达到

300km; 1990 年 5 月 13 日试验的最高时速已达 515.3km。在日本、法国修建高速铁路取得成效的基础上, 世界上许多国家也掀起了建设高速铁路的热潮, 就连过去曾因铁路不景气拆掉一部分线路而被称为“汽车王国”的美国, 也在重视并着手高速铁路的建设。中国也于 1994 年建成广州至深圳的准高速铁路, 全长 147.3km, 时速为 160km。目前, 高速铁路技术在上世界上已经成熟, 高速化已经成为当今世界铁路发展的共同趋势。

几乎与高速旅客列车出现的同时, 世界上一些拥有大宗矿产运输的铁路则致力于重载货物运输。50 年代末, 美国铁路在与煤浆管道竞争中, 采用单元列车的方式取得成功。60 年代单元列车在北美铁路得到迅速发展, 成为货物运输的基本形式。此后, 澳大利亚、巴西、南非等国铁路也陆续修建或改建了适于行驶重载列车的线路。前苏联从 70 年代开始先后以合并列车或组织超重列车的方法开行重载列车。中国铁路从 80 年代起经历三个阶段和采取三种运输组织模式开行重载列车。第一阶段自 1985 年至 1990 年为改造旧线, 开行组合式重载列车模式阶段。这一模式是将同方向运行的两列普通货物列车首尾连挂在一起, 机车分别挂于列车头部和中部。第二阶段自 1990 年至 1992 年为新建大秦铁路, 开行单元式重载列车模式阶段。这一模式是以固定的机车车辆组合成为一个运营单元列车, 并以此作为运营计费的单位。第三阶段为 1992 年以后对繁忙干线逐步进行改造, 开行整列式重载列车模式阶段。这一模式是由大功率机车(单机或双机)牵引, 机车挂于列车头部。重载列车的开行使货物运输的重载化成为世界铁路的另一个热潮。

近半个世纪以来, 世界上许多国家的铁路部门都积极研究、采用高新技术和先进手段, 着力于加强铁路的技术装备和现代化管理, 全方位地推进铁路运输科学技术的进步, 在很多方面取得了突破性进展。除客运高速、重载运输以外, 牵引动力革命、货物运输集中化和集装化、运营管理自动化和铁路行车安全技术的发展等, 不仅使铁路运输生产满足各国社会和经济发展的需要, 而且也充分展现了铁路这个传统、古老的产业无限广阔的发展前景。

铁路运输与其他各种现代化运输方式相比较, 具有运输能力大, 能够负担大量客货运输的优点。每一列车载运货物和旅客的能力远比汽车和飞机大得多。速度快是铁路运输的另一特点。常规铁路的列车运行速度一般为 80km/h 左右, 高速铁路上运行的旅客列车时速目前可达 210~260km。铁路货运速度虽比客运慢些, 但比水道运输快得多。铁路运输成本较低也是一个重要的优点。运作愈长、运量愈大, 单位成本就愈低。一般铁路的单位运输成本比公路运输和航空运输要低。在经常性和准确性方面铁路运输也是名列前茅的, 可以全年全天候不停地运营, 受地理和气候条件的限制很少。此外, 铁路运输还具有单位能源消耗较少、安全上比较可靠以及环境污染程度小的优点。

由于铁路运输具有上述的技术经济特点, 因此, 铁路运输适合于国土幅员辽阔的大陆国家; 适合于运送经常的、稳定的大宗货物运输; 适合于运送中长距离的一般货物运输以及适合中长距离和短距离的城市间旅客运输的需要。

水路运输由船舶、航道和港口三部分组成。水路运输按照航行的区域分为远洋运输、沿海运输和内河运输三种类型。远洋运输指无限航区的国际运输。沿海运输指在沿海区域各港口之间的运输。内河运输指在江、河、湖泊及人工水道上从事的运输。

内河运输是人类较早采用的一种运输方式, 是水路运输的一个重要组成部分, 早期的内河运输是单一船舶的运输, 尽管目前有所改进, 增大船舶吨位, 但载重量受内河航道条件的制约仍有一定的限制。海上运输是历史悠久的国际贸易运输方式。目前, 国际贸易总运量的 2/3 以上利用海上运输。随着国际间贸易交往的发展, 石油、大宗散货和集装箱的专业化运输, 导致专

业化运输船队的形成,以及船舶和装卸机械的专业化和大型化。目前在世界商船总吨位中,油船占 31.6%,集装箱船占 5%,散货船占 32.5%,杂货船占 17.9%,集装箱船和散货船持上升趋势。

在水路运输中,除运河以外,内河航道均是利用天然江河加以整治,修建必要的导航设备和港口码头等就可通航;海运航道更是大自然的产物,一般不需要人工整治,且海运航线往往可以取两个港口间的最短距离。因此,一般说来,河运的平均运输成本比铁路略低,而海运成本则远比铁路为低,这是水路运输的一个突出优点。

水路运输的运输能力相当大。在海洋运输中,目前世界上超巨型油船的载重量达 55 万 t,巨型客船已超过 8 万 t。海上运输在条件允许的情况下,可改造为最有利的航线,因此,海上运输的通过能力比较大。

此外,水路运输的能源消耗也是较低的。那是因为船舶在低速行驶下所需克服阻力小,能够节约燃料;如果航速略微增大,则所需克服的阻力就直线上升。因此,一般船只的行驶速度只能达到 40km/h,比铁路、汽车慢得多,水运送达速度通常比铁路运输慢 1~2 倍。水运的另一缺点是受自然条件的限制较大。冬季河道或港口冰冻时即须停航,海上风暴也会影响正常航行。

由于水路运输具有占地少、运量大、投资省、运输成本低等特点,在运输长、大、重件货物时,与铁路、公路相比,水上运输更具有突出的优点。对几百吨重、几十米长的大重件,铁路、公路无法承担,而水上运输都可完成。对大宗货物的长距离运输,水路运输则是最经济的一种运输方式。

公路运输是现代运输主要方式之一。公路运输由公路和汽车两部分组成。

现代公路按其管理范围可大致分为国道或主干线、省道或次干线以及其他地方道路或支线。随着世界各国技术经济的发展和生产及人民生活的需要,现代公路已开始进入立体化高速公路时代。

公路运输的主要优点之一是它的机动、灵活性很强,可实现门到门运输。汽车不仅是其他运输方式的接运工具,还可进行直达运输,在无水路或铁路运输的地区,公路可以深入到广大城镇和农村。汽车运输在运输时间上的机动性也比较大,并且对客运量、货批量大小具有很强的适应性。

送达速度快是公路运输的又一优点。由于汽车运输灵活方便,可实行门到门的直达运输,因而不需中途倒装,既加速了中、短途运输的送达速度,进而又加速了货物资金周转,有利于保持货物的质量和提高客、货的时间价值。快速是乘客对客运的另一个重要要求。在短距离运输时,汽车客运速度明显高于铁路。此外,公路运输与其他运输方式相比,投资少、资金周转快,原始投资回收期短,且技术改造比较容易。汽车运输的出现还不到 100 年,但在载货吨位、品种、技术性能、专用车种类等方面都有了很大的改进和提高,能较好地满足社会经济发展对运输的需要。

由于公路运输具有上述一些特点,因此,公路运输在中、短途运输中,效果最突出。另外,它又是补充和衔接其他运输方式的运输。例如,担负铁、水运输达不到的区域内以及其起终点的接力运输等。但汽车运输在担负长途运输业务方面,有着难以弥补的缺陷。第一是燃料消耗大,造成途中费用过高;第二是机器磨损大,造成折旧费和维修费很高;第三是公路运输所耗用的人力多。如一系列火车车组人员只需几个人,若运送同样重量的货物,则需要配备几百名司机。因此,汽车运费率远高于铁路和水运。

航空运输在 20 世纪迅速崛起,是运输行业中发展最快的行业,在一些发达国家,已经成为交通运输业的主要方面。航空运输与其他运输方式相比,最大的特点是速度快,并具有较大机动性。在当今的时代,高速具有无可比拟的特殊价值。现代的喷气式运输机,时速一般在 900km 左右,比火车快 5 ~ 10 倍,比海轮快 20 ~ 25 倍。航空运输不受地形地貌、山川河流的障碍,只要有机场并有航路设施保证,即可开辟航线,如果用直升机运输,机动性更大。其缺点是载运能力小、能源消耗大和运输成本高。

管道运输是使用管道输送流体货物的一种方式。它是随着石油工业发展而兴起并随着石油、天然气等流体燃料需求的增加而发展,逐渐形成沟通石油、天然气资源与石油加工场地,及消费者之间的输送工具。管道不仅修建在一国之内,还连接国家之间,甚至达到洲与洲之间,成为国防、洲际能源调剂的大动脉。

管道运输在最近几十年来得到了迅速发展。主要的流体能源从石油、天然气、成品油为运送对象,之后发展到输送煤和矿石等固体物质,将其制成浆体,通过煤浆管道输往目的地,再经过脱水处理转入使用。

管道运输具有输送能力大(一条管径 1200mm 的原油管道年输量可达 1 亿 t)、效率高、成本低及能耗小等优点。由于管道埋于地下,除泵站、首末站占用一些土地外,管道占用土地少,且不受地形与坡度的限制,缩短运输里程;埋于地下基本不受气候影响,可以长期稳定运行;沿线不产生噪声且漏失污染少。管道输送流体能源,主要依靠每隔一段距离设置的增压站提供压力能,设备运行比较简单,易于就地自动化和进行集中遥控,由于节能和高度自动化,用人较少,使运输费用降低。因此是一种很有发展前途的现代化运输方式。当然,管道运输也存在一些缺点,它适于长期定向、定点输送,合理输量范围较窄,如输量变换幅度过大,则管道的优越性就难以发挥。

总之,各种运输方式都有自己的特性和优缺点,五种主要运输方式既有相对独立性,又互相依存。在国民经济和社会发展以及运输技术不断进步的条件下,综合利用和发展各种运输方式的问题,日益受到各国的重视。在保证运输安全,合理利用自然资源,保护环境等前提下,充分发挥各种运输方式的技术经济优势和功能,做到合理分工和协调发展,力求达到最经济合理地满足运输需求。

第一篇 铁路运输设备

第一章 铁路线路

铁路线路是机车车辆和列车运行的基础。铁路线路是由路基、桥隧建筑物(桥梁、涵洞、隧道等)和轨道(主要包括钢轨、联结零件、轨枕、道床、防爬设备和道岔等)组成的一个整体工程结构。

铁路线路应当经常保持完好状态,使列车能按规定的最高速度安全、平稳和不间断地运行,以保证铁路运输部门能够优质地完成客货运输任务。

第一节 铁路线路的平面和纵断面

一、铁路的勘测设计

由于新建和改建铁路的工程量和投资量都很大,而且技术复杂,牵涉面广,因此在建筑一条铁路之前,必须进行深入细致的调查研究和勘测工作,并从若干个可供比较的方案中选出一个最优方案来进行设计。根据基建程序要求,铁路建设划分为三个阶段。

(一)前期工作阶段

1. 路网规划:由铁道部负责,国家计委批准。
2. 可行性研究计划:由铁道部计划司提出可行性研究项目。
3. 可行性研究报告:由设计部门承担。进行勘测、调查和概略定线;论证修建的必要性;对设计线的运输任务、线路走向、接轨方案、能力设计和经济效益作出评价,对项目是否可行提出科学依据。

4. 设计任务书:可行性研究报告由计划部门鉴定批准后,下达设计任务书。

5. 初步设计:先对线路进行初测(包括调查确定运输任务,并对地形、地质、水文等勘测)。然后编制初步设计文件(确定接轨点和线路走向;选定主要技术标准,确定通过能力和输送能力;计算工程量等)。

初步设计经鉴定批准后,建设项目才能成立,前期工作结束。

(二)基本建设阶段

1. 技术设计:先进行定测(打中线桩、测量高程和横断面,测绘勘察各种建筑物等)。然后编制技术设计和详细计算工程数量、编制预算。

2. 计划任务书:明确建设规模、主要技术条件、工程投资和开工、竣工期限。

3. 施工图设计。

4. 工程施工和设备安装。

5. 验收投产。

(三) 投资效果反馈

在铁路运营若干年后,由建设单位会同有关部门,对工程质量、技术指标和经济效益等进行考查验证,以评价设计和施工质量,验证结论上报国家有关部门。

二、铁路主要技术标准

铁路主要技术标准包括铁路等级、正线数目、限制坡度、最小曲线半径、牵引种类、机车类型、机车交路、车站分布、到发线有效长度和闭塞类型等。这些标准是确定铁路能力大小的决定因素,不但对设计线的工程造价和运营质量有重大影响,并且是确定设计线一系列工程标准和设备类型的依据,所以称为铁路主要技术标准。

铁路等级是铁路的基本标准。其他各项标准的确定,都与铁路等级有关。

在我国《铁路线路设计规范》(GBJ90—85,以下简称线规)中规定,新建铁路和改建铁路(或区段)的等级,应根据它们在铁路网中的作用、性质和远期的客货运量确定。我国铁路共划分为三个等级,具体的条件见表 1—1—1。

为使各级铁路确定设计标准有所依据,《线规》规定了各级铁路的行车最高速度: 级铁路为 120km/h; 级铁路为 100km/h; 级铁路为 80km/h; 行车最高速度是旅客列车预期能达到的最高速度。如果设计铁路的行车最高速度大于 120km/h,则其技术标准应另行拟定。

表 1—1—1 铁路等级

等级	铁路在路网中的意义	远期年客货运量
级铁路	在路网中起骨干作用的铁路	≥ 15Mt
级铁路	1. 在路网中起骨干作用的铁路	< 15Mt
	2. 在路网中起联络、辅助作用的铁路	≥ 7.5Mt
级铁路	为某一区域服务,具有地区运输性质的铁路	< 7.5Mt

注: 远期——指交付运营后第 10 年;
年货运量为重车方向,每对旅客列车上下行各按 0.7Mt 年货运量折算。

铁路的等级不同,在线路平、纵断面设计中所采用的标准和装备的类型也不一样,因此,进行设计时,首先要确定铁路的等级。

其余技术标准将在后面的内容中分别介绍。

三、铁路线路平面及其组成要素

一条铁路线在空间的位置是用它的线路中心线来表示的。中心线点的位置是在路肩连线的中点,如图 1—1—1 所示。

线路在空间的位置是由平面和纵断面决定的。线路的平面是指线路中心线在水平面上的投影;线路的纵断面是指线路中心线展直后在垂直面上的投影。

(一) 线路在平面上的组成要素

从运营观点来看,最理想的铁路线路是既直又平,即在线路平面上没有曲线,纵断面上没有坡道。但是,这样是不经济的、不合理的,有时也是不现实的。因为天然地面情况是复杂多变的,有山、有水、有沙漠、森林、矿区、城镇等障碍物和建筑物,如果把铁路修得过分平坦和顺直,势必造成工程数量和工程费用的大量增加,而且延误工期。所以从工程观点来看,铁路线路最好能够随地形条件而有适当的起伏和弯曲。这样,既可减少工程数量、降低造价,又便于避开地形、地质和地物上的障碍。

某条铁路线经过 A、B、C 三点(图 1—1—2)。如果我们把 AB 和 BC 分别用直线连接起来,那么在 AB 之间要建筑两座桥梁,在 BC 之间要开凿一座隧道。在工程上,是不合理、不经济的,

而应分别用折线 ADB 和折线 BEC 来代替。在折线的转角处, 则用曲线来连接。直线和曲线就成为铁路线路平面的组成要素。

图 1—1—1 线路中心线点的位置

图 1—1—2 铁路线绕避地形障碍示意图

- (二) 曲线附加阻力与曲线半径
- 列车在线路上运行时, 总会遇到各种阻力, 归纳起来, 主要有两大类:
- 1. 基本阻力: 这种阻力是指列车在空旷地段沿平、直轨道运行时所受到的阻力。包括空气阻力, 车轴与轴承之间的摩擦阻力, 轮轨之间摩擦阻力, 钢轨接头对车轮的撞击阻力等。基本阻力在列车运行时总是存在的。
 - 2. 附加阻力: 包括坡道阻力、曲线阻力、起动阻力、隧道阻力等。
- 线路平面上有了曲线(即弯道)后, 会给列车运行造成不良的影响。当列车通过曲线时, 由于离心力的作用, 使外侧车轮轮缘紧压外轨内侧, 摩擦增大; 同时由于曲线外轨比内轨长, 内侧车轮和外侧车轮滚动的长度就不同, 因而两侧车轮在轨面上滚动时会产生相对滑动, 给运行中的列车造成一种附加阻力, 称为曲线阻力。
- 曲线阻力的大小, 我国通常用下面试验公式来计算, 即

$$W_r = \frac{A}{R} \quad (N/t)$$

式中 A——用试验方法归纳的常数, 在计算中, 我国通常采用 $A = 7000$;
R——曲线半径, m;
 W_r ——单位曲线阻力, N/t, 即列车每吨重量所摊到的曲线附加阻力。

这一公式适用于曲线长度大于或等于列车长度的情况。如果曲线长度 ($L_{\text{曲}}$) 小于列车长度 ($L_{\text{列}}$) 时, 则列车的一部分处于曲线运行, 另一部分处于直线运行, 这时曲线阻力应按下列公式计算:

$$W_r = \frac{7000}{R} \times \frac{L_{\text{曲}}}{L_{\text{列}}} \quad (N/t)$$

从式中可知, 曲线阻力与曲线半径成反比。半径越小, 曲线阻力越大, 运营条件就越差, 说明采用大半径曲线对列车运行的影响较小。但是, 小半径曲线亦具有容易适应地形困难的优点, 对工程条件有利。因此, 设计时必须根据铁路允许的旅客列车的最高运行速度, 由大到小地合理选用曲线半径。我国《铁路线路设计规范》中规定, 铁路平面曲线半径有: 4000m、3000m、2500m、2000m、1500m、1200m、1000m、800m、700m、600m、550m、500m、450m、400m、350m 和 300m, 共 16 种。此外, 还对区间线路的最小曲线半径做了具体规定, 如表 1-1-2 所列。

列车速度越高, 曲线半径也要加大。目前在高速铁路线路上, 最小曲线半径标准一般为 2000 ~ 4000m, 个别线路有采用 7000m 的。

线路曲线半径的确定, 取决于铁路运输要求和所在地区自然条件等因素, 我国铁路《线规》

规定最大为 4000m, 这是从我国目前的最大行车速度和线路维修养护技术考虑的。曲线半径是限制行车速度的主要条件之一。列车最高速度和曲线半径的相互关系一般以下式表示:

$$V_{\max} = K \sqrt{R}$$

式中 R —— 曲线半径, m;
K —— 系数, 各国由于线路结构、机车车辆设备及对行车安全与舒适要求标准不同, K 值也随之各异, 一般为 4~5。

表 1—1—2 区间正线最小曲线半径

铁路等级	最小曲线半径(m)	
	一般地段	困难地段
	1000	400
	800	400
	600	300

表 1—1—3 几个国家高速铁路最小曲线半径

国 别	最小曲线半径(m)	
	一般地段	困难地段
日本高速新干线	4000	3500
法国巴黎~里昂	4000	3250
意大利罗马~佛罗伦萨	4000	3000
德国高速新干线	7000	5100

在我国, 不同曲线半径下允许通过的最大速度, 见表 1—1—4 所列。
由表可知, 当区间正线上的最小曲线半径为 800m 和 600m 时, 相应的最大允许速度为 122km/h 和 105km/h, 可以满足目前铁路(不包括准高速铁路)行车速度的要求。

表 1—1—4 与各种曲线半径相应的最大允许速度

曲线半径(m)	250	300	350	400	450	500	550
行车速度(km/h)	68	74	80	86	91	96	101
曲线半径(m)	600	700	800	1000	1200	1500	
行车速度(km/h)	105	114	122	136	149	166	

(三) 圆曲线和缓和曲线
在平面图上, 铁路曲线包括圆曲线和缓和曲线。
圆曲线的要素(图 1—1—3), 主要是曲线半径 R (m) 和转向角度 α (度)。这两者确定了, 其他要素包括切线长度 T (m) 和圆曲线长度 L (m), 可按下列公式计算:

$$T = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{T}{R})$$
$$L = \pi R \frac{\alpha}{180} \quad (1 \text{ 的弧长 } L_1 = \frac{2\pi R}{360} = \frac{\pi R}{180} \text{ m})$$

在铁路线上, 直线与圆曲线之间应设置缓和曲线(图 1—1—4)。从缓和曲线所衔接的直线一端起, 它的半径由无穷大渐变到它所衔接的圆曲线半径 R。
这样, 使列车由直线(或圆曲线)驶向圆曲线(或直线)时, 使离心力逐渐增加(或消失), 减缓了外轮对外轨的冲击, 使列车运行平稳, 旅客舒适, 保证列车运行安全。

缓和曲线长度应根据铁路等级、曲线半径, 结合曲线所处地段的行车速度和地形条件合理选用。我国铁路缓和曲线长度是 20~150m。有条件时, 应尽量选用较长的缓和曲线。

(四) 铁路线路平面图
用一定的比例尺, 把线路中心线以及它两侧的地面情况投影到水平面上, 就是铁路线路平面图(图 1—1—5 见书末插页)。
从图 1—1—5 中, 我们可以看到线路中心线(包括直线和曲线)以及沿线的车站、桥涵、隧

图 1—1—3 圆曲线要素图

道等情况;同时,还可以看到用等高线(地面上高程相等诸点的连线)表示的沿线地形和地物(河流、道路、房屋等)情况。

四、铁路线路纵断面及其组成要素

(一) 线路在纵断面上的组成要素
为了适应地面的天然起伏,铁路线路上除了平道以外,还修成上坡道和下坡道。因此,平道和坡道就成为铁路线路纵断面的组成要素。

坡道坡度的大小是用千分率表示的。在图 1—1—6 中,坡道 AB 的坡度为

图 1—1—4 缓和曲线示意图

$$i‰ = \frac{h}{L} = \tan \alpha$$

设 L 为 1500m, h 为 9m, 则坡度为 6‰。

(二) 坡道附加阻力与限制坡度
有了坡道以后,也给列车运行造成了不良影响。当列车在坡道上运行时,会受到一种由坡道引起的阻力,称为坡道附加阻力。从图 1—1—6 中可以看出,机车车辆的质量 Q 的重力 Qg (N)可以分解为垂直于坡道的分力 F₁ 和平行于坡道的分力 F₂。前一个分力由轨道的反作用力抵消了,后一个分力 F₂,就成为坡道附加阻力。

图 1—1—6 坡度与坡道阻力示意图

$$\begin{aligned} F_2 &= Qg \cdot \sin \alpha \quad (\text{N}) \\ &= Qg \cdot \tan \alpha \quad (\text{因为 } \alpha \text{ 很小}) \\ &= 1000Qg \tan \alpha \quad (\text{将 } Q \text{ 的单位由 t 变成 kg}) \\ &= 1000Qg i‰ \quad (\text{因为 } \tan \alpha \approx i‰) \end{aligned}$$

$$\text{则 } F_2 = Q \cdot g \cdot i = 10Qi \quad (\text{N})$$

列车平均每一吨重量所受到的坡道阻力,叫做单位坡道阻力 (W_i), 其计算公式为

$$W_i = \frac{10Qi}{Q} = 10i \quad (\text{N/t})$$

式中 i —— 坡度值, ‰;
g —— 重力加速度, m/s², 近似采用 10。

这就是说, 机车车辆每一吨质量, 上坡时所受的坡道阻力(牛顿数), 近似等于用千分率表示的这一坡道坡度的 10 倍。

列车上坡时, 坡道阻力规定为正, 而当下坡时, 规定为负。
由上可见, 坡度越大, 列车上坡时的坡道阻力也就越大, 同一台机车(在列车运行速度相同的条件下)所能牵引的列车重量也就越小。

在每一个铁路区段中, 总是由许多平道和坡道组成的(图 1—1—7), 各个坡段的坡度也往往不等, 它们对于列车重量的影响也就不同。

在一个区段上, 决定一台某一类型机车所能牵引的货物列车重量(最大值)的坡度, 叫做限制坡度(i_限 ‰)。在一般情况下, 限制坡度的数值往往和区段内陡长上坡道的最大坡度值相等。

如果在坡道上又有曲线, 那么这一坡道的坡道阻力和曲线阻力之和, 不能大于该区段规定

的限制坡度的阻力值,即

$$10i + W_r \leq 10i_{\text{限}}$$

为此,限制坡度的数值为

$$i + \frac{W_r}{10} \leq i_{\text{限}}$$

限制坡度的大小影响一个区段甚至全铁路线的运输能力。限制坡度小,列车重量可以增加,运输能力就大,运营费用就越

图 1—1—7 线路纵断面组成示意图

省。但是限制坡度过小时,就不容易适应地面的天然起伏,特别是在地形变化很大的地段,使工程量增大,造价提高。因此,限制坡度的选定是一个很重要的问题,要经过仔细的综合研究,才能得出合理的结论。我国《铁路技术管理规程》规定的最大限制坡度的数值,如表 1—1—5 所列。

表 1—1—5 铁路最大限制坡度

铁路等级	最大限制坡度(‰)	
	一般地段	困难地段
	6	12
	12	15
	15	20

有时在个别地段里,地形障碍显著而又集中。

在设计铁路线时,为了使全线列车重量一致,如采用同其他地段一样的限制坡度,则不仅工程艰巨,而且造价很高;如果按照这一地段的条件来选择全线的限制坡度,又将使其他地段的机车牵引力白白浪费,在运营上很不合理。因此,在这种个别地段(例如在铁路线越过高山峻岭时)往往采用大于

于全线限制坡度的加力牵引坡度($i_{\text{加}}\%$)。在经过这一地段时,用几台机车共同牵引一个列车。我国铁路规定各级铁路加力牵引坡度内燃牵引的铁路上最大不得超过 25‰,电力牵引的铁路上最大不得超过 30‰。

(三) 坡段长度与坡段的连接

坡段的长短,对线路的工程和运输影响很大。从运营上说,坡段越长,不仅整个设计线的变坡点数目减少,而且当坡段长度不短于列车长度时,列车同时跨越的变坡点只有一个,对行车安全和平顺是较好的。但从工程上说,较短的坡段长度,能更好地适应地形的起伏变化,可以减少路基、桥隧等工程量。因此,应综合考虑两者的影响来确定最短的坡段长度。《线规》中规定,一般情况纵断面坡段长不小于远期列车长度的一半,可以使一个列车下的变坡点不超过二个,以减少变坡点附加力的叠加影响。

表 1—1—6 坡段最小长度

远期到发线有效长度 (m)	1050	850	750	650	550
坡段最小长度 (m)	500	400	350	300	250

设计线路纵断面时,在工程条件许可情况下,坡段长度应尽量长些,一般不短于表 1—1—6 规定的数值,而且取 50m 的整数倍。

相邻的坡道和平坡,或坡道和坡道之间的交点,叫做变坡点。纵断面坡段的坡度,随行车方向而言,有上坡、下坡和平坡。上坡的坡度值取正值,下坡的坡度值取负值,平坡的坡度值为零。相邻坡段坡度差的大小,应以代数差的绝对值 Δi 表示。为了保证列车运行的平顺与安全, 、

级铁路相邻坡段的坡度代数差大于 3‰、 级铁路大于 4‰时,应以竖曲线连接(图 1—1—8)。在图中,如 $i_1\% = 3\%$, $i_2\% = 7\%$, 则

$$\Delta i = |i_1 - i_2| = |3 - 7|\% = 4\% > 3\%$$

所以要用竖曲线连接。竖曲线是纵断面上的曲线。竖曲线的半径, 、 级铁路规定为

10 000m, 级铁路规定为 5000m。

(四) 铁路线路纵断面图

用一定的比例尺, 把线路中心线展直后投影到垂直面上, 并标明平面、纵断面各项有关资料的图纸, 叫做铁路线路纵断面图(图 1—1—9)。

铁路线路纵断面图的上部是图的部分, 其中主要是设计坡度线, 即路肩设计标高的连线。此外, 还有地面线、填方和挖方高度的数字、桥隧建筑物资料(包括桥梁、涵洞的孔径、类型、中心里程和隧道

图 1—1—8 竖曲线示意图

图 1—1—9 线路纵断面图

长度等)、车站资料(包括站名、车站中心里程和相邻车站间的距离)及其他有关情况。

在纵断面图的下部是表格部分, 其中主要是路肩设计标高(在变坡点处和百米标、加标处都标出路肩设计标高)和设计坡度(每个坡段分别标出)。同时, 用公里标的、百米标和加标(在

桥涵中心位置等必要地点都设置加标,并标明加标处和后一个百米标的距离)标明线路上各个坡段和设备的位置。此外,还有地面标高等。

在线路纵断面图上,还附有铁路线路平面(中央的直线表示直线段,上下凸出部分为曲线段,上凸表示铁路线向右偏转,下凸表示向左偏转,斜线表示缓和曲线),以便和线路纵断面情况相对照,看清线路平、纵断面的全貌。

五、线路标志

为了检查和维修线路以及司机操纵机车等工作上的方便,在铁路沿线设置有各种线路标志,其中和铁路线路平面、纵断面情况有关的一些标志有公里标、半公里标、圆曲线与缓和曲线始终点标、曲线标、桥涵标、坡度标等。如图 1—1—10 所示。

公里标(图 1—1—10a)表示由铁路线起点开始计算的连续里程,每公里设一个;半公里标(图 1—1—10b)则在半公里处设一个。曲线标、圆曲线与缓和曲线始终点标的外形与设置位置如图 1—1—10(c)所示。在标上分别写有缓圆、圆缓或直缓、缓直字样,表明它们所对应的方向是直线、缓和曲线或圆曲线。曲线标设在曲线的中部,应写明圆曲线、缓和曲线长度以及半径大小等,如图 1—1—10(d)。坡度标(图 1—1—10e)设在变坡点处,它的正面和背面分别表示两边的坡度和坡段长度;箭头表示上坡或下坡,箭尾数字表示坡度;下面的数字表示坡段长度,它的侧面则标明它所在的里程。桥涵标表示桥梁或涵洞的位置与编号。

图 1—1—10 线路标志
(a) 公里标;(b) 半公里标;(c) 曲线标;(d) 圆曲线与缓和曲线始终点标;(e) 坡度标。

第二节 路基和桥隧建筑物

在完成铁路线的设计并经领导机关审核批准以后,就必须按照平面和纵断面图的要求进行施工。在建筑过程中,总是先修路基和桥隧建筑物,然后再铺设轨道。

路基和桥隧建筑物都是轨道的基础,它们直接承受轨道的重量,承受轨道传来的机车车辆及其荷载的压力。因此,路基和桥隧建筑物的质量如何,对于整个线路质量有很大关系。