

# 学习情境一 公路工程基础认知



## 学习目标

- 了解道路发展和变化的历程,了解我国公路建设的发展规划。
- 熟悉公路的主要组成部分。
- 掌握公路分级及相关技术标准。
- 掌握高速公路的概念,了解其特点和国内外发展情况。

## 课题一 公路发展概况

道路是供各种车辆(无轨)和行人等通行的工程设施,按其使用特点可分为公路、城市道路、厂矿道路、林区道路及乡村道路等。其中,公路是连接城市、乡村和工矿基地,主要供汽车行驶,具有一定技术条件和设施的道路。

### 一、道路的历史

道路的历史就是人类发展的历史。人类在社会、经济生活中创造了道路,而道路的产生和发展又为推动社会的发展和人类的进步做出了巨大的贡献。

#### 1. 世界道路的发展史

古代道路的发展按不同的运输工具可分为步行道路、驮运道路和马车道路3个阶段。人类最早的步行和驮运道路有莫亨约·达罗城市道路、罗马道路、丝绸之路等。马车的出现对道路的技术条件(如宽度、坡度、平整度、强度以及路线的布设等)提出了更高的要求,因此,马车道路使筑路技术有了长足的进步。但是马的运力有限,速度较低,随着经济的发展,马车逐渐不能满足人类生产生活的需要。1886年1月29日,两位德国人卡尔·本茨和戈特利布·戴姆勒分别获得了三轮汽车和四轮汽车专利权,标志着世界上第一辆汽车的诞生,这也标志着道路发展进入了汽车道路时代。1919年德国出现了世界上第一条高速公路,这是一种新型的交通设施,可以保证汽车快速、安全、舒适地行驶。高速公路的出现为公路事业



的进一步发展开辟了广阔的前景。

## 2. 我国道路的发展史

我国是世界上最早记载道路建设的国家。在我国古代传说中就有“黄帝劈山通路”和“黄帝造车”之说，在夏代（公元前 2070 年—公元前 1600 年）就有对制造车辆确切的记载。在历史的长河中，我国勤劳、智慧的各族人民在道路、桥梁的修建，车辆的制造以及交通管理等方面，都取得过辉煌的成就。我国古代的道路建设在世界上曾处于领先地位，在世界道路交通史上写下了光辉的篇章。

### 1) 我国古代道路的发展史

根据《史记》记载，早在 4 000 多年前中国就有了车和行车的路。商代（约公元前 16 世纪—公元前 1046 年）开始有驿道传送。

西周时期（公元前 1046 年—公元前 771 年），我国的道路更加发达，已经有了以都市为中心的完整的道路体系，其盛况如《诗经》中记载的“周道如砥，其直如矢”。《周礼》中记载“匠人营国，方九里，旁三门，国中九经九纬，经涂九轨……环涂七轨，野涂五轨”，这说明当时的城市道路网已有经、纬、环、野四类之分。此外，西周还建立了比较完善的道路管理制度，例如，《周礼》规定“雨毕而除道、水涸而成梁”，意思是说雨后应修整养护路面，枯水季节宜修理桥梁。在交通法规上，《周礼》还规定“贱避贵、少避长、轻避重”，以保安全。

秦朝（公元前 221 年—公元前 206 年），我国修建了驰道、直道，建立了规模宏大的道路交通网，总里程约为 12 000 km。《汉书》记载当时道路的盛况“秦为驰道于天下，东穷燕齐，南极吴楚，江湖之上，滨海之观毕至”。同时，秦始皇将“车同轨”作为统一天下的大政之一，即统一全国车辆轴距和道路宽度标准。

西汉时期（公元前 202 年—公元前 9 年），我国设驿亭约 3 万处，道路交通呈现出更加繁荣的景象。特别是连接欧亚大陆的“丝绸之路”的开通，为东西方经济文化交流做出了巨大的贡献。

唐朝（公元 618 年—公元 907 年）是我国古代经济和文化发展的昌盛时期，建成了以长安城（今西安）为中心，长度约为 22 000 km 的驿道网。宋、元、明、清各代（公元 960 年—公元 1911 年）在道路交通上又有了一定程度的发展。

### 2) 我国近现代道路的发展史

尽管我国曾经创造了领先于世界的古代道路文化，但是由于长期的封建制度和近百年帝国主义列强的侵略和掠夺，生产力的发展受到束缚，我国直到 20 世纪初才开始兴建公路，并且在旧中国发展十分缓慢。

清末光绪二十七年（公元 1901 年），我国上海进口了两辆汽车，标志我国道路交通进入汽车时代。我国第一条现代汽车公路是建于光绪末年（公元 1906 年）的那坎—镇南关—龙州公路，全长 55 km。

中华民国时期（公元 1912 年—公元 1949 年），公路有了初步的发展。我国先后共修建公路约 13 000 km，但这些公路大多标准很低，设施简陋，路况很差。到 1949 年，全国能够维持通车的公路仅有 80 000 km，此外，全国有 1/3 的县不通公路，西藏地区没有一条公路。

新中国成立以来，我国进入了社会主义建设的伟大时代。由于工农业生产的迅速发展，人民的生活水平逐步提高，我国的公路交通事业也得到了迅速的发展，先后修建了在我国道路建设史上具有重要意义的川藏、青藏、天山等公路。特别是 1978 年以后，国家制定了以经





济建设为中心的政策,开始了建设有中国特色社会主义的新时期,公路建设也开创了崭新的局面。

截止到2016年年底,我国公路总里程达469.63万km,公路总里程居世界第一。公路密度为48.92 km/100 km<sup>2</sup>。

全国高速公路里程达 $13.10 \times 10^4$  km,高速公路已覆盖全国90%以上的中等城市,全国高速公路车道里程为 $57.95 \times 10^4$  km。全国等级公路里程为 $422.65 \times 10^4$  km,等级公路占公路总里程的90.0%。其中,二级及以上公路里程为 $60.12 \times 10^4$  km,占公路总里程的12.8%。

各行政等级公路里程分别为:国道 $35.48 \times 10^4$  km、省道 $31.33 \times 10^4$  km、县道 $56.21 \times 10^4$  km、乡道 $114.72 \times 10^4$  km、村道 $225.05 \times 10^4$  km。

全国公路养护里程为 $4.59 \times 10^6$  km,占公路总里程的97.7%。

## 二、公路运输的特点和作用

运输产业是国民经济的重要基础产业之一。现代交通运输由铁路运输、水上运输、航空运输、管道运输及公路运输五种方式组成。这些运输方式各具特点,其中铁路运输由于运量大、运程远,对远程的大宗货物及人流运输起着重要的作用;水上运输可利用天然的水道资源,具有通过能力高、运量大、能耗省、运输成本低的优点;航空运输具有快速运送旅客及贵重、紧急商品和货物的作用;管道运输多用于液态、气态及散装粉状货物(如石油、汽油、水泥等)的运输。公路运输是指以公路为运输线,利用汽车等陆路运输工具,做跨地区或跨国的移动,以完成旅客或货物位移的运输方式。公路运输既是独立的运输体系,又是车站、港口和机场物资集散的重要手段,它是对外贸易运输和国内客货运输的主要方式之一。公路运输与其他运输方式相比,具有以下几个特点。

(1)机动灵活,适应性强。由于公路运输网分布面广且密度比铁路网、水路网大十几倍,因此公路运输车辆可以“无处不到”。公路运输在时间方面的机动性比较大,车辆可随时调度、装运,各环节之间的衔接时间较短,即公路运输车辆可以“无时不有”。公路运输对客、货运量的多少具有很强的适应性,汽车的载重吨位有小(0.25~1 t)有大(200~300 t),既可以单个车辆独立运输,也可以由若干车辆组成车队同时运输,这一点对抢险、救灾工作和军事运输具有特别重要的意义。

(2)可实现“门到门”直达运输。由于汽车体积较小,中途一般也不需要倒运、换乘,因此,公路运输除了可沿分布较广的路网运行外,还可离开路网深入到工厂企业、农村田间、城市居民住宅等地,即可以把旅客和货物从始发地门口直接运送到目的地门口,实现“门到门”直达运输。这也是其他运输方式无法比拟的特点。

(3)在中、短途运输中,运送速度较快。在中、短途运输中,由于公路运输可以实现“门到门”直达运输,中途不需要转乘、倒运就可以直接将客、货运达目的地,因此,与其他运输方式相比,其客、货在途时间较短,运送速度较快。

(4)运量较小,运输成本较高。目前,世界上最大的汽车是美国通用汽车公司生产的矿用自卸车,长约20 m,自重250 t,载重350 t左右,但其装载量仍比火车、轮船小得多,加上其行驶阻力比铁路大9~14倍,所消耗的燃料又是价格较高的液体汽油或柴油,因此,汽车运输成本较高,仅次于航空运输。但随着高速公路建设的日趋成熟,以及汽车制造业的不断发



展与改进,公路运输的成本也将随之下降。

综上所述,公路运输作为交通运输体系的重要组成部分,在当今国民经济发展中发挥着举足轻重的作用。公路运输以其强大的通行能力、快捷的运行速度、灵活的运行方式等特性,极大地提高了交通运输系统的能力,丰富了交通运输系统的内容。另外,公路运输对创造就业机会、调整产业结构、合理开发自然资源以及发挥城市的经济辐射作用均有着重要的意义。

### 三、我国公路建设的发展规划

#### 1. “五纵七横”国道主干线系统建设规划

新中国成立以来,我国的公路建设取得了巨大的成就,但是与发达国家相比仍存在很大的差距。我国公路建设等级较低、里程少、密度低且分布不均匀,这远远不能满足现代化建设的需要。因此,交通部(现改名“交通运输部”)于1991年提出了《“五纵七横”国道主干线系统规划》。该规划的主要内容为:从1991年开始到2020年,用30年左右的时间,建成12条总长约为35 000 km的“五纵七横”国道主干线,将全国重要城市、工业中心、交通枢纽和主要陆上口岸连接起来并连接所有目前100万以上人口的特大城市和绝大多数目前在50万以上人口的中等城市,逐步形成一个与国民经济发展格局相适应、与其他运输方式相协调、主要由高等级公路(高速、一级、二级公路)组成的快速、高效、安全的国道主干线系统。在技术标准上大体以京广线为界,京广线以东地区经济发达、交通量大,以高速公路为主;以西地区交通量较小,以一、二级公路为主。

(1)“五纵”国道主干线包括:黑龙江同江—海南三亚,长约5 700 km;北京—福州,长约2 420 km;北京—珠海,长约2 717 km;二连浩特—云南河口,长约3 610 km;重庆—湛江,长约1 430 km。

(2)“七横”国道主干线包括:绥芬河—满洲里,长约1 483 km;丹东—拉萨,长约4 590 km;青岛—银川,长约1 610 km;连云港—霍尔果斯,长约3 980 km;上海—成都,长约2 770 km;上海—云南瑞丽,长约4 090 km;衡阳—昆明,长约1 980 km。

实际上,“五纵七横”国道主干线在2008年初已基本建设完成,提前13年完成规划目标。该建设规划的实施,优化了我国交通运输结构,促进了高速公路持续、快速和有序地发展,对缓解交通运输的“瓶颈”制约发挥了重要作用。

#### 2. 国家公路网规划

随着社会经济的高速发展,国家对交通运输的要求日益提高,为此,2013年5月国家发展改革委员会制发了《国家公路网规划(2013—2030年)》(以下简称《规划》)。《规划》指出:国家公路网规划总规模40.1万km,由普通国道和国家高速公路两个路网层次构成。

(1)普通国道网。由12条首都放射线、47条南北纵线、60条东西横线和81条联络线组成,总规模约26.5万公里。按照“主体保留、局部优化,扩大覆盖、完善网络”的思路,调整拓展普通国道网:保留原国道网的主体,优化路线走向,恢复被高速公路占用的普通国道路段;补充连接地级行政中心和县级节点、重要的交通枢纽、物流节点城市和边境口岸;增加可有效提高路网运行效率和应急保障能力的部分路线;增设沿边沿海路线,维持普通国道网相对独立。





①首都放射线(12条)。北京—沈阳、北京—抚远、北京—滨海新区、北京—平潭、北京—澳门、北京—广州、北京—香港、北京—昆明、北京—拉萨、北京—青铜峡、北京—漠河、北京环线。

②北南纵线(47条)。鹤岗—大连、黑河—大连、绥化—沈阳、烟台—上海、秦皇岛—深圳、威海—汕头、乌兰浩特—海安、二连浩特—浙川、苏尼特左旗—北海、满都拉—防城港、银川—榕江、兰州—龙邦、策克—磨憨、西宁—澜沧、马鬃山—宁洱、红山嘴—吉隆、阿勒泰—塔什库尔干、霍尔果斯—若羌、喀纳斯—东兴、东营—深圳、同江—哈尔滨、嘉荫—临江、海口—三亚(东)、海口—三亚(中)、海口—三亚(西)、张掖—孟连、丹东—东兴、饶河—盖州、通化—武汉、嫩江—双辽、牙克石—四平、克什克腾—黄山、兴隆—阳江、新沂—海丰、芜湖—汕尾、济宁—宁德、南昌—惠来、正蓝旗—阳泉、保定—台山、呼和浩特—北海、甘其毛都—钦州、开县—凭祥、乌海—江津、巴中—金平、遂宁—麻栗坡、景泰—昭通、兰州—马关。

③东西横线(60条)。绥芬河—满洲里、珲春—阿尔山、集安—阿巴嘎旗、丹东—霍林郭勒、庄河—西乌珠穆沁旗、绥中—珠恩嘎达布其、黄骅—山丹、文登—石家庄、青岛—兰州、连云港—共和、连云港—栾川、上海—霍尔果斯、乌鲁木齐—红其拉甫、西宁—吐尔尕特、长乐—同仁、成都—噶尔、上海—聂拉木、高雄—成都、上海—瑞丽、广州—成都、瑞安—友谊关、瑞金—清水河、福州—昆明、广州—南宁、秀山—河口、连云港—固原、启东—老河口、舟山—鲁山、洞头—合肥、丹东—阿勒泰、萝北—额布都格、三合一莫力达瓦旗、龙井—东乌珠穆沁旗、承德—塔城、天津—神木、黄骅—榆林、海兴—天峻、滨州港—榆林、东营港—子长、胶南—海晏、日照—凤县、大丰—卢氏、东台—灵武、启东—那曲、上海—安康、南京—德令哈、武汉—大理、察雅—萨嘎、利川—炉霍、台州—小金、张家界—巧家、宁德—福贡、南昌—兴义、福州—巴马、湄洲—西昌、东山—泸水、石狮—水口、佛山—富宁、文昌—临高、陵水—昌江。

此外包括81条联络线。

(2)国家高速公路网。由7条首都放射线、11条北南纵线、18条东西横线,以及地区环线、并行线、联络线等组成,约11.8万公里,另规划远期展望线约1.8万公里。按照“实现有效连接、提升通道能力、强化区际联系、优化路网衔接”的思路,补充完善国家高速公路网:保持原国家高速公路网规划总体框架基本不变,补充连接新增20万以上城镇人口城市、地级行政中心、重要港口和重要国际运输通道;在运输繁忙的通道上布设平行路线;增设区际、省际通道和重要城际通道;适当增加有效提高路网运输效率的联络线。

①首都放射线(7条)。北京—哈尔滨、北京—上海、北京—台北、北京—港澳、北京—昆明、北京—拉萨、北京—乌鲁木齐。

②北南纵线(11条)。鹤岗—大连、沈阳—海口、长春—深圳、济南—广州、大庆—广州、二连浩特—广州、呼和浩特—北海、包头—茂名、银川—百色、兰州—海口、银川—昆明。

③东西横线(18条)。绥芬河—满洲里、珲春—乌兰浩特、丹东—锡林浩特、荣成—乌海、青岛—银川、青岛—兰州、连云港—霍尔果斯、南京—洛阳、上海—西安、上海—成都、上海—重庆、杭州—瑞丽、上海—昆明、福州—银川、泉州—南宁、厦门—成都、汕头—昆明、广州—昆明。

此外包括6条地区性环线及若干条并行线、联络线等。



## 课题二 公路的主要组成部分

公路是一种带状的三维空间结构物,主要由线形和结构两大部分组成。

### 1. 公路线形

公路线形是指公路中线的空间几何形状和尺寸。将这一空间线形投影到平、纵、横三个面而分别绘制出反映其形状、位置和尺寸的图形,就是公路的平面图、纵断面图和横断面图。

### 2. 公路结构

公路的结构主要包括路基、路面、涵洞、桥梁、隧道等基本构造物,还有路基排水工程和防护加固工程、线路交叉工程、山区特殊构造物,以及交通服务设施,如安全设施、管理设施、服务设施和公路绿化等。

(1)路基。公路路基是在天然地面上填筑成路堤(填方路段)或挖成路堑(挖方路段)的带状土工结构物,是行车部分的基础,它承受着路面传递下来的行车荷载。设计时必须保证路基具有足够的强度、变形性能和足够的稳定性,并防止水分及其他自然因素对路基本身造成侵蚀和损害。

(2)路面。路面是用各种筑路材料铺筑在公路路基上供车辆行驶的构造物,它直接承受着行车荷载和自然因素的作用,供车辆在上面以一定车速安全而舒适地行驶。

(3)桥涵。桥梁是为公路、城市道路等跨越河流、山谷等天然或人工障碍物而建造的建筑物;涵洞是为宣泄地面水流而设置的横穿路堤的小型排水构造物。在低等级道路上,当水流不大时可用大石块或卵石修筑具有透水能力的透水路堤;通过平时无水或水流很小的宽浅河流时,可修筑在洪水期间容许水流漫过的过水路面。在未建桥的道路中断处还可设置渡口、码头等。

(4)隧道。隧道是为道路从地层内部或水底通过而修筑的建筑物。隧道可以缩短道路里程并使行车平顺迅速。

(5)路基排水工程。为了防止地面水和地下水侵蚀、冲刷路基,确保路基稳定,需设置排水构造物。排水构造物除了是指上述的桥涵外,还有边沟、截水沟、排水沟、跌水、急流槽、盲沟、渗井及渡槽等。由这些排水构造物组成的综合排水系统,能减轻或消除各种水对道路的侵害。

(6)防护加固工程。防护加固工程是指可以保护、加固路基边坡,保证路基稳定的构造物。例如,在陡峻山坡或沿河一侧的路基边坡上可修建填石边坡、砌石边坡、挡土墙、护脚及护面墙等;在易发生雪害的路段可设置防雪栅、防雪棚等;在沙害路段设置控制风蚀过程的发生和改变沙粒搬运及堆积条件的设施;在沿河路基上设置导流结构物,如顺水坝、格坝、丁坝及拦水坝等。

(7)线路交叉工程。线路交叉是指公路与公路、公路与铁路、公路与其他道路或管线之间的交叉。其中,除与管线必须采取立体交叉外,公路与公路或与其他道路交叉时,既可以采用平面交叉,也可以采用立体交叉。公路与其他道路立体交叉要建跨线桥;公路与公路互





通式立体交叉,除了要建跨线桥以外,还要修建匝道。

(8)山区特殊构造物。如图 1-1 所示,在山区地形、地质复杂路段,可修建悬出路台、半山洞、半山桥及明洞等以保证道路连续和路基稳定的特殊构造物。

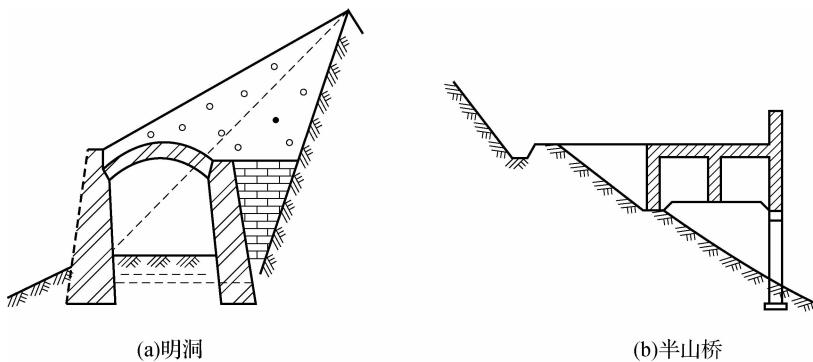


图 1-1 山区公路特殊构造物

(9)交通服务设施。交通服务设施是指保证公路沿线交通安全、管理、服务及环境保护的一些设施,如照明设备、交通标志、护栏、中央分隔带、隔音墙、隔离墙、加油站、汽车停车场、食宿站、绿化和美化设施等。

### 课题三 公路分级、分类及技术标准

#### 一、公路的分级

2015 年 1 月 1 日起实施的《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)根据公路的功能和适应的交通量将其分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路和四级公路 5 个等级。

(1)高速公路:专供汽车分方向、分车道行驶,全部控制出入的多车道公路。高速公路的年平均日设计交通量宜在 15 000 辆小客车以上。

(2)一级公路:供汽车分方向、分车道行驶,可根据需要控制出入的多车道公路。一级公路的年平均设计交通量宜在 15 000 辆小客车以上。

(3)二级公路:供汽车行驶的双车道公路。二级公路的年平均日设计交通量宜为 5 000~15 000 辆小客车。

(4)三级公路:供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道公路。三级公路的年平均日设计交通量宜为 2 000~6 000 辆小客车。

(5)四级公路:供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道或单车道公路。双车道四级公路年平均日设计交通量宜在 2 000 辆小客车以下;单车道四级公路年平均日设计交通量宜在 400 辆小客车以下。

#### 二、公路的分类

除了按前面介绍的技术标准对公路进行分级外,还可以依照当前我国的行政管理体制,并根据公路的位置、在国民经济中的地位及运输特点,将公路划分为国家干线公路(简称“国



道”)、省干线公路(简称“省道”)、县公路(简称“县道”)、乡村道路(简称“乡道”)以及专用公路等。

(1)国道。国道是指在国家干线网中,具有全国性的政治、经济、国防意义的主要干线公路,包括重要的国际公路,国防公路,连接首都与各省、自治区、直辖市首府的公路,连接各大经济中心、港站枢纽、商品生产基地和战略要地的公路。

(2)省道。省道是指在省(自治区、直辖市)公路网中,具有全省性的政治、经济、国防意义,并由省级公路主管部门负责修建、养护和管理的省级公路干线。

(3)县道。县道是指具有全县政治、经济意义,连接县城和县内主要乡(镇)、主要商品生产和集散地的公路,以及不属于国道、省道的县际间公路。县道由县、市公路主管部门负责修建、养护和管理。

(4)乡道。乡道是指直接或主要为乡村经济、文化、生产、生活服务以及乡村与外部联系的公路。乡道由县统一规划,由县、乡组织修建、养护和使用。由于乡村道路主要为农业生产服务,因此一般不列入国家公路等级标准。

(5)专用公路。专用公路是指专供或主要供厂矿、林区、农场、油田、旅游区、军事基地等与外部联系的公路。专用公路由道路使用单位负责修建、养护和管理,也可委托当地公路部门修建、养护和管理。专用公路的技术要求应按其专门制定的技术标准或参照《公路工程技术标准》执行。

### 三、公路工程的技术标准

公路工程的技术标准是对公路线形和构造物的设计、施工在技术性能、几何尺寸、结构组成方面的具体规定和要求。公路工程的技术标准是根据汽车行驶性能、数量、荷载等方面的要求和设计、施工和使用的经验,经过调查研究和理论分析制定出来的。

《公路工程技术标准》(JTGB01—2014)反映了我国目前的公路建设方针、政策和技术要求,是公路设计、修建和养护的主要依据,在公路设计、施工和养护中必须严格执行。在执行《公路工程技术标准》的过程中,也应在符合国家建设方针、政策和不过分增加工程造价的前提下,根据技术经济原则尽可能地采用较高的技术指标,避免只求合法、不求合理地采用低限指标的错误观点。

#### 1. 设计速度

设计速度是指在正常的气候和交通条件下,汽车运行时只受公路自身条件(路线几何要素等)影响,具有中等驾驶技术的人员能够安全、顺适地驾驶车辆的速度。

运行速度与设计速度是两个不同的概念。运行速度是指汽车在公路上的实际行驶速度,它受气候、地形、交通密度以及公路本身条件的影响,同时与驾驶员的技术水平也有很大的关系。在设计速度低的路段上,当行车条件(交通密度、气候、地形等)较好时,行车速度常接近或超过设计速度。设计速度越低,出现这种现象的概率越大。考虑到这一特点,对同一等级的公路按不同的条件采用不同的设计速度是合理的。同时,超过设计速度的情况是危险的,所以在地形良好、线形顺适、视野开阔、容易出现超速(超过设计速度)行驶的路段,要特别注意曲线半径、超高、纵坡等方面的合理配置。

设计速度是决定公路几何线形的基本要素。曲线半径、超高、视距、合成坡度、路幅宽度和竖曲线设计等都直接或间接地与设计速度有关,所以它是体现公路等级的一项重要指标。





《公路工程技术标准》规定了各级公路的设计速度,见表 1-1。

表 1-1 各级公路的设计速度

公路等级	高速公路			一级			二级		三级		四级
设计速度/(km/h)	120	100	80	100	80	60	80	60	40	30	30

## 2. 交通量

交通量是确定公路等级的主要依据。交通量是指单位时间(每小时或每昼夜)内通过公路某一断面处的往返车辆总数,其单位为辆/日或辆/小时。交通量的大小与社会经济发展的速度、气候、物产、文化生活水平等多方面因素有关,且随着时间、地点的不同而变化。其具体数值可通过交通调查和交通预测确定。根据观测方法和观测时间的不同,最常用的交通量有年平均日交通量(AADT)、高峰小时交通量(PHV)、平均日交通量(ADT)、第 30 位高峰小时交通量(30thPHV)等。

## 3. 交通量换算

《公路工程技术标准》规定,在确定某公路的设计交通量时,应将各种车辆折算为标准车型。我国公路设计时以小客车为标准车型。设计时应将公路上行驶的各种车辆(含非机动车辆)按规定折合成小客车的年平均日交通量。各种汽车的折算必须有统一的尺度,这样才能比较交通量的大小。确定公路等级的各汽车代表车型和车辆折算系数见表 1-2。

表 1-2 各汽车代表车型与车辆折算系数

汽车代表车型	车辆折算系数	说 明
小客车	1.0	不大于 19 座的客车和载质量不大于 2 t 的货车
中型车	1.5	大于 19 座的客车和载质量大于 2 t 且小于等于 7 t 的货车
大型车	2.5	载质量大于 7 t 且小于等于 20 t 的货车
汽车列车	4.0	载质量大于 20 t 的货车

注 1:畜力车、人力车、自行车等非机动车,在设计交通量换算中按路侧干扰因素计。

注 2:公路上行驶的拖拉机每辆折算为 4 辆小客车。

注 3:公路通行能力分析所要求的车辆折算系数应针对路段、交叉口等形式,按不同的地形条件和交通需求,采用相应的折算系数。



## 课题四 高速公路的特点及发展

### 一、高速公路的概念

高速公路是专供汽车行驶的汽车专用公路,其通过采用较高的技术指标和完善的交通设施,保证汽车能够大量、快速、安全、舒适、连续地运行。高速公路能适应公路运输交通量的迅速增长,减少交通事故,改善道路交通拥塞,是现代公路高度发达的象征。

各国高速公路的发展过程不相同。到目前为止世界上关于高速公路的定义各国不一。英国的高速公路称为 motorway,美国称为 freeway,这两个词是英文中最常用的名称。德国称为 autobahn,法国称为 autoroute,意大利称为 autostrada。在 20 世纪 60 年代,日本将其修建的高速公路都称作“高速道路”,但后来制定道路法时却将其更名为“高速自动车国道”。

1962 年 11 月,在日内瓦召开的联合国欧洲经济委员会运输部会议对高速公路做了如下的定义:“所谓高速公路,是利用分离的行车道往返行驶交通的道路。它的两个行车道用中央分隔带分开;与其他铁路、公路不允许有平面交叉;禁止从路侧的任何地方直接进入公路;禁止汽车以外的任何交通工具出入。”

从以上定义和解释可以看出,高速公路应符合以下 4 个条件。

(1)实行交通限制,规定汽车专用。交通限制主要是指对车辆和车速的限制。凡非机动车辆和由于车速限制可能形成危险和妨碍交通的车辆均不得使用高速公路。车速限制主要是对最高和最低车速的限制,以使高速公路上的车速差减少,超车次数减少,确保行车安全。

(2)高速公路设有中央分隔带,实行分隔行驶,往返交通完全隔开。分隔行驶包括两方面的内容:一是对向车用中间带分离,以避免对向车辆行车干扰,二是每一行车方向设置两个及以上用画线办法分隔的行车道,将同向行驶的快车、慢车和超车分离,以减少同向车间的干扰。

(3)高速公路与铁路、公路都是立体交叉的,不存在一般公路平面交叉的横向干扰。

(4)高速公路严格控制出入,实行“全封闭”。控制出入是指对进出高速公路的车辆加以严格控制,禁止非机动车和行人上路。车辆出入的控制方法是在交叉口处设置立体交叉,使相交车流在空间上分离,通过立交的进出口来控制车辆出入。高速公路沿线还通过设置高路堤、高架桥、护栏、分隔网等“封闭”措施,使汽车与非机动车和行人分离。通过控制和“封闭”,减少行车的侧向干扰,以保证快速行驶中车辆的安全。

此外高速公路路线采用较高的技术指标,沿线还设有完善的安全设施、服务设施、交通控制设施、管理设施及绿化设施。这些高标准的设计指标和完善的交通服务设施,为高速、安全、舒适行车,调节恢复驾驶员疲劳,方便旅客,保护环境等,提供了可靠的保证。

### 二、高速公路的特点

高速公路是一种新型的、具有巨大发展潜力的现代运输手段,它使公路运输业发生了质





的变化。与普通公路运输相比,高速公路具有以下的五大特点。

### 1. 运行速度快,运输效益好

速度是提高公路运输效率的一个重要因素。我国高速公路的设计速度有 120 km/h、100 km/h、80 km/h 三种,行车速度比普通公路高得多。这使得行驶时间缩短,车辆使用率提高,从而带来了巨大的社会效益与经济效益,对政治、经济、军事都有十分重要的意义。

### 2. 通行能力大,运输效率高

通行能力反映了公路允许通过的汽车数量的多少。据统计,普通双车道公路的通行能力为 5 000~6 000 辆/昼夜,而一条四车道高速公路的通行能力可达 25 000~55 000 辆/昼夜,六车道和八车道高速公路的通行能力可达 45 000~80 000 辆/昼夜和 60 000~100 000 辆/昼夜。可见高速公路的通行能力比一般公路高出几倍甚至几十倍。这大大提高了运输能力,从而能够解决交通拥塞的问题。

### 3. 减少交通事故,行车安全性高

行车安全是反映运输质量的重要指标。高速公路由于采取了确保行车快速、安全的有效措施,如控制出入、交通限制、分隔行驶、汽车专用自动化控制管理系统等,使交通事故发生率比一般公路大大减少。据统计,世界范围内高速公路的交通事故发生率仅为普通公路的 1/3,事故死亡率仅为普通公路的 1/2。日本高速公路交通事故死亡人数仅是普通公路的 1/40,受伤人数仅是普通公路的 1/62。

### 4. 道路设施完善,运输成本低

高速公路完善的道路设施条件使主要行车消耗——燃油与轮胎消耗、车辆磨损、货损及事故赔偿损失降低,从而使运输成本大幅度降低。据国外统计资料,日本高速公路的运输成本仅是普通公路的 17%,若按日交通量 2 000 辆/天计算,仅此一项,7 年之内,即可收回建设投资;以我国目前的运输成本及耗油水平计算,假定年运量为  $1.5 \times 10^7$  t,修建 100 km 高速公路,每年可节约运费 7 500 万元,节约燃油  $2.1 \times 10^5$  t。

高速公路的高效率功能,还进一步推动了汽车设计和公路运输组织方式的变革。例如,汽车制造向提高轴荷载、大型化、高速化、车型专用化方向发展;运输组织方式尽量采用牵引拖挂、汽车列车及集装箱运输,以减少装卸、中转。

### 5. 带动沿线经济发展

高速公路的高能、高效、快速通达的多功能作用,使生产与流通、生产与交换的周期缩短、速度加快,促进了商品经济的繁荣发展。实践表明,在高速公路沿线,由于交通运输环境改善创造出的有利投资条件,使地区之间、城乡之间的政治、经济、文化交流日益扩大,信息传播及时频繁,有利于兴起一大批新兴工业、商贸城市,使这些城市的产业结构更趋合理,商品流通费用相对较低,人民收入相对较高,即高速公路沿线的经济发展速度远远超过其他地区。这被称为高速公路的“产业信息带”。

## 三、高速公路面临的问题

高速公路尽管有极其广阔的发展前景,但目前发展高速公路还存在以下几个问题。



## 1. 投资大

高速公路是使用周期长、技术标准高和投资巨大的基础性设施。为保证行车速度和行车安全,我国对高速公路的路线线形和建筑材料都有严格的标准和要求。在高速公路的造价中,仅材料费用就占到40%~50%。高速公路征地拆迁费用、通讯监控等交通设施费用在造价中也占有很大比重。尽管这些投资在道路投入运营后可以逐年收回,但在短时间内要集中巨额资金投入高速公路建设的困难很大,不过这一问题将随着我国经济实力的增强和投资渠道多元化而逐步得到缓解或解决。“十一五”期间高速公路建设的历史性突破就充分说明了这一点。

## 2. 占地多

高速公路占地极大,一般四车道高速公路用地宽度为30~35 m;六车道为50~60 m,八车道为70~80 m,一座互通式立体交叉用地为40 000~100 000 m<sup>2</sup>。较高的用地使工程造价增加。据一些发达国家统计,高速公路的地价占整个公路投资的1/3以上。另外,我国人口众多,但耕地面积少,且耕地又在逐年减少,必然会出现农业用地与高速公路建设用地之间的矛盾。

## 3. 与普通公路和地方公路的贯通问题

高速公路采取的全封闭、全立交、汽车专用、限制出入的策略,有利于长距离快速通达的运输服务,但会给地方支线交通造成一定困难。如何解决好高速公路与普通公路、地方公路之间的关系,更有效地发挥高速公路的作用,有待进一步研讨。

## 4. 密集型的管理问题

高速公路建设标准高、路面系统结构复杂,采用高科技的现代通讯监控、监视系统,交通工程与服务设施数量多,技术性能复杂,加之公路处于全天候、大流量、高速度的负荷下,使得高速公路的管理和维护工作既有技术性也有特殊性。如何改进普通公路传统的养护管理方法而对高速公路实行高效特管,已成为重要课题。

## 5. 环境保护

在高速公路上集中高速行驶的车流所发出的噪声和排出的废气,将会给环境造成一定污染。虽然国内外已有一些解决交通公害的措施,但问题还未完全解决,这也是值得研究的课题。

# 四、国内外高速公路的发展

德国是世界上最早修建高速公路的国家,在1921年建成的AVUS被认为是世界上最长的高速公路。在20世纪30年代德国已建成约3 000 km的高速公路,到2012年德国高速公路的里程已达12 550 km。

美国是修建高速公路路网最完善、设备最先进的国家之一。早在1937年,加利福尼亚州就修建了首条高速公路,长约11 km。1939年,美国议会讨论了高速公路计划,到1941年美国参战前夕,完成了宾夕法尼亚州高速公路和康涅狄格州梅里特高速公路。美国由于第二次世界大战的财政困难和战后恢复减缓了高速公路的建设,但同时使美国认识到高





速公路的战略性作用。因此,1944年通过的《联邦资助公路法》就提出了“州际高速公路系统”的概念,并确定了州际高速公路系统 $6.44 \times 10^4$  km的规划总长度,当时预计能承担全国公路总交通量的20%~25%,并适应未来20年的交通需求。1956年又再次修订了《联邦资助公路法》,将州际高速公路系统改称为“全国州际与国防高速公路系统”,同时将规划总长度调整为 $6.6 \times 10^4$  km。不仅如此,《联邦资助公路法》还规定了公路建设费用的来源,从而促成了当时世界上和平时期最大的工程建设项目。从1957年州际与国防高速公路网开始正式投资建设,到1991年全部州际公路系统完成,建设历时35年,其长度为当时的世界之冠。美国高速公路修建速度也是最快的,1956—1980年,平均每年增加3 000 km,到2012年美国高速公路里程已超过100 000 km。

我国高速公路的建设始于台湾省。第一条高速公路北起基隆南至高雄,全长373 km,还有一条机场高速公路支线,长为9.5 km。该路于1968年开始进行可行性研究,1970年动工,1978年10月竣工,历时近10年,全线按美国AASHTO(美国公路和运输官员协会标准)及加州公路设计标准设计施工。

中国大陆高速公路现正处于建设时期。1988年10月建成通车的沪嘉高速公路是我国大陆的第一条高速公路(全长15.9 km)。接着,1989年8月全长16 km的广佛高速公路建成通车。1990年,全长375 km的沈大高速公路建成通车,该路耗资22亿元,建成后行程时间由过去的10小时减至4小时,被称为“神州第一路”。此后我国相继建成的高速公路有上海—莘松高速公路、京津塘高速公路、京石高速公路、合肥—南京高速公路、济青高速公路、西临高速公路、开封—洛阳、郑州—许昌高速公路、海南东线环岛高速公路、石太高速公路、京沈高速公路、八达岭旅游高速公路、京开高速公路、石黄高速公路等,截至2012年底我国高速公路总里程达 $9.62 \times 10^4$  km。

应当指出,国内外高速公路的发展还具有以下两个特征。

(1)城市高速公路发展异常迅速。在一些发达国家,由于城市人口集中,工商业十分发达,城市内汽车的增长比郊外快得多。因此,高速公路的产生大多从城市的外环路、辐射路以及城内交通量大的路段开始,最后逐渐形成以高速公路为骨干的城市道路网。以美国为例,美国的公路运输量有51%集中于大城市,纽约是世界上高速公路最多的城市,1982年已达到1 287 km,其密度为31.99 km/km<sup>2</sup>。

(2)国际高速公路网正在逐步修建形成。随着全球和区域经济一体化的发展,为了更好地发挥高速公路的效益,加强国际之间的公路运输联系,一些发达国家正在把主要高速公路连接起来,构成国际高速公路网。其中,已经规划和正在实现的国际高速公路网有欧洲高速公路网、欧亚大陆公路网、泛美公路网、亚洲公路网,正在规划和形成的有非洲横断公路网、亚马逊地区横断公路网等。

 思考与练习**一、名词解释**

设计速度 交通量 高速公路

**二、简答题**

1. 公路运输有哪些特点？
2. 公路的主要组成部分有哪些？
3. 公路的技术分级是如何划分的？
4. 公路的行政分级主要有哪些？
5. 高速公路有哪些特点？



## 学习情境二 路线工程图识读



### 学习目标

- 掌握《公路路线设计规范》(JTGD20—2006)中对平、纵、横设计的有关要求。
- 能够计算基本型组合曲线中缓和曲线要素和5个主点里程桩号。
- 能够计算竖曲线诸参数和各桩号设计标高。
- 能对公路线形进行平、纵线形组合效果评价。
- 掌握平曲线超高与加宽的过渡方式。
- 能够进行土石方数量计算并进行土石方调配。
- 可以利用图解法绘制视距包络曲线,确定障碍物清除范围。
- 掌握平面、纵断面、横断面设计成果的识读方法。
- 能够正确识读公路交叉设计图。

### 课题一 公路平面

公路是一种带状的空间结构物,它的中线是一条空间曲线,称为公路路线。公路路线具有狭长、高差大和弯曲多等特点。因此,公路路线工程图的表示方法与一般工程图不完全相同,有自己的一些特殊画法与规定。为了把公路这个三维空间的实体表达出来,通常采用3个不同方向的投影来分别研究公路的位置和形状。公路在水平面上的投影图称为公路的平面图,通过公路中线的竖向剖面图称为公路的纵断面图,公路上任一点垂直于路中线的竖向剖面图称为公路的横断图。也就是说,公路路线工程图主要是由路线平面图、路线纵断面图和路基横断面图三个部分组成。通过三个方面的图示来说明公路路线的平面位置、线形状况、沿线两侧一定范围内的地形和地物、纵断面的标高和坡度、路基宽度和边坡、土壤地质以及沿线构造物的位置及其与路线的相互关系。

由于各种因素及自然条件(主要是地形、地物、地质等)的限制,一条较长的公路从起点到终点在平面上不可能是一条直线,常常需要有很多转折。而每到转折处都需要设置平缓



的曲线,以消除公路的突然转折,使汽车安全顺适地通过。行驶中的汽车因其导向轮旋转而与车身纵轴之间的关系分别是角度为零、角度为常数、角度为变数,与此对应的行驶轨迹线为:曲率为零的线形——直线,曲率为常数的线形——圆曲线,曲率为变数的线形——缓和曲线。因此,公路平面线形是由直线、圆曲线和缓和曲线构成的,这称为平面线形三要素,如图 2-1 所示。在低速公路上,为简化设计,也可以只使用直线和圆曲线两种要素。

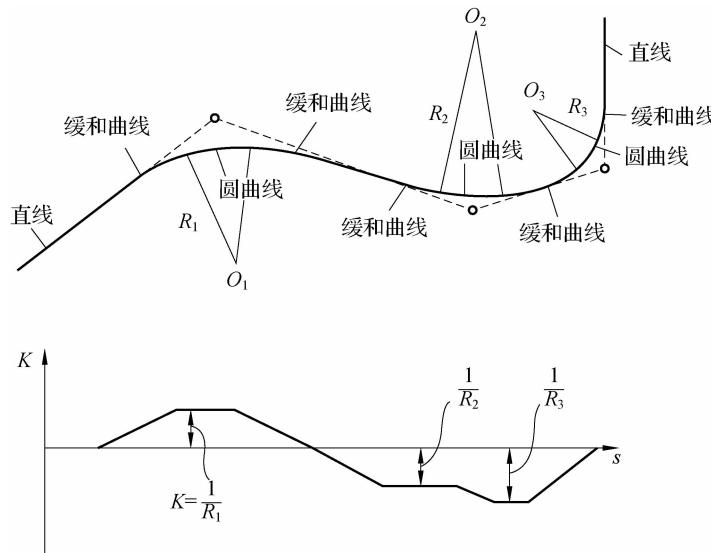


图 2-1 平面线形要素

## 一、直线

### 1. 直线的特点

直线是平面线形中最基本的线形要素之一,在公路中使用最为广泛。直线有如下的优点。

(1)两点之间,直线最短。一般在定线时,只要地势平坦、无大的地形障碍,定线人员都首先考虑使用直线通过。

(2)笔直的道路给人以短捷、直达的良好印象。

(3)汽车在直线上行驶时受力简单、方向明确、驾驶操作简易。

(4)从测设上看,直线只需定出两点,就可方便地测定方向和距离。

但是,直线也有以下的缺点。

(1)直线缺乏变化,在地形、地物复杂或起伏较大地区,直线难以与地形、地物相协调。强定直线往往增加工程量、破坏自然环境。

(2)在高速行车的情况下,长直线景观单调,司机容易疲劳,反应迟钝。

(3)长直线使目测车间距离困难,夜间行车会增加车灯眩目的危险。

(4)长直线容易导致超高速行驶,危及交通安全。

### 2. 直线的长度

直线的长度是指前一曲线的终点(缓直 HZ 或圆直 YZ)到后一曲线起点(直缓 ZH 或直圆 YZ)之间的长度。在公路平面线形设计时,一般应根据路线所处地带的地形、地物条件,





驾驶员的视觉、心理感受以及保证行车安全等因素,合理地布设直线路段,并对直线的最大与最小长度加以限制,使其既不过长也不过短。

### 1) 直线最大长度

由于长直线的弊端,一些国家对直线的最大长度做了相应规定。例如,德国和日本规定直线的最大长度为  $20V$ ( $V$  为计算行车速度,用 km/h 表示, $20V$  相当于 72 s 的行程),苏联规定为 8 km,美国为 180 s 行程。我国的《公路路线设计规范》中规定:“直线的长度不宜过长。受地形条件或其他特殊情况限制而采用长直线时,应结合沿线具体情况采取相应的技术措施。”

一般来说,公路线形是在已有自然条件的基础上进行考虑的。首先考虑的不是在平面线形上尽量多采用直线,或者必须是由连续的曲线构成,而是应该采用与自然地形相适应的线形,不强调长直线,也不硬性设置不必要的曲线。这就是长直线的设置原则。

### 2) 直线最小长度

两曲线之间若夹有一条短直线,特别是在同向曲线间插入短直线,会破坏连续而圆滑的线形,容易造成驾驶失误,所以在设计中应尽量避免这种情况出现,最好采用卵形曲线设计。当不得已必须插入直线时,直线长度不宜过短,最好是按设计车速,采用大于 500~700 m 的直线。《公路路线设计规范》对圆曲线间的最短直线长度作了如下的规定。

(1) 设计速度大于或等于 60 km/h 时,同向圆曲线间的最小直线长度(以 m 计)以不小于设计速度(以 km/h 计)的 6 倍为宜;反向圆曲线间的最小直线长度(以 m 计)以不小于设计速度(以 km/h 计)的 2 倍为宜。

(2) 设计速度不大于 40 km/h 时,可参照上述规定执行。

## 3. 直线的应用

### 1) 适宜采用直线的地区或地段

(1) 地形、地物完全不受限制的平坦地区或山间的宽阔河谷地带。这种地段通常为连续的填方和直线线形。为了弥补环境单调的缺陷,定线时应注意把引起兴趣的自然风景或建筑物纳入驾驶员的视线范围之内。

(2) 公路通过市区或近郊按直线线形规划的地区。为节约用地和与周围人工景观协调,这些地区宜采用直线。

(3) 长的大桥梁或长的高架构造物、隧道等地段。从施工的方便与经济性方面考虑,这些地段宜用直线。

(4) 路线交叉点及其前后。

(5) 双车道公路提供超车的路段。

### 2) 采用长直线线形时应注意的事项

(1) 在长直线上纵坡不宜过大,因为长直线加下陡坡行车易导致高速度。

(2) 采用长直线时,宜与大半径凹形竖曲线相组合,这样可以使生硬呆板的直线得到一些缓和。

(3) 公路两侧地形过于空旷时,宜采取种植不同树种或设置一定的雕塑、广告牌等措施,以改善单调的景观。

(4) 长直线或长下坡尽头的平曲线,除曲线半径、超高、视距等必须符合规定要求外,还必须采取设置标志、增加路面抗滑能力等安全措施。



## 二、圆曲线

《公路路线设计规范》规定,各级公路不论转角大小均应设置平曲线。圆曲线是平曲线的主要组成部分。在公路平面线形中,常用的单曲线、复曲线、双交点或多交点曲线、虚交点曲线和回头曲线等一般都包括有圆曲线。圆曲线作为公路平面线形具有以下主要特点。

(1)曲线上任意点的曲率半径  $R$  为常数,曲率  $1/R$  为常数,因此测设和计算简单。

(2)曲线上任意一点都在不断地改变着方向,因此比直线更能适应地形的变化,尤其是由不同半径的多个圆曲线组合而成的复曲线,对地形、地物和环境有更强的适应能力。

(3)汽车在圆曲线上行驶要受到离心力的作用,因此比在直线上行驶多占用公路宽度。

(4)汽车在小半径的圆曲线上内侧行驶时,视距条件较差,视线受到路堑边坡或其他障碍物的影响较大,因此较易发生行车事故。

圆曲线的技术指标主要有最小半径、最大半径、平曲线最小长度等。

### 1. 圆曲线半径公式

汽车在圆曲线上行驶时,除受重力外,还要受到离心力的影响。离心力使汽车产生两种危险趋势:一是向外滑移,二是向外倾覆。离心力的大小与圆曲线的半径成反比,半径越小,离心力就越大,对行车安全就越不利,因此,在设计时总希望圆曲线半径尽可能地大些。但实际上由于自然条件等的限制,曲线半径往往无法太大,所以选择合理的圆曲线半径非常重要。通过对行驶于平曲线上的汽车横向受力状态的分析及各种力间的几何关系,得出圆曲线半径的计算公式为

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i)} \quad (2-1)$$

$$\mu = \frac{X}{G} \quad (2-2)$$

式中, $R$  为圆曲线半径(m); $V$  为行车速度(km/h); $\mu$  为横向力系数,即单位车重所承受的实际横向力,极限值为路面与轮胎之间的横向摩阻系数; $i$  为路面的横向坡度; $X$  为横向力; $G$  为车重。

式(2-1)中,汽车在双坡路面曲线内侧行驶时,取“+”号;在双坡路面外侧行驶时,取“-”号。

为了减小横向力,一般将圆曲线路面做成外侧高、内侧低的单向横坡,称为弯道的超高。汽车行驶在具有超高的曲线上,其车重的横向分力与离心力的分力方向相反,故可以抵消一部分离心力的作用。因此,路面设置超高后曲线上行车所受横向力将减小。设超高后,圆曲线半径为

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_b)} \quad (2-3)$$

式中, $i_b$  为路面超高横坡。

### 2. 圆曲线半径的选用

#### 1) 横向力系数的确定

汽车在曲线上行驶时,由于横向力的作用,行车的安全与舒适程度会受到影响,而且横向力越大,不利影响就越大,因此,必须对横向力的大小加以限制。横向力系数的选用需考





虑汽车在弯道上行驶时的行车安全性、舒适性和经济性。

(1) 安全性分析。汽车在弯道上安全行驶的必要条件是轮胎不会在路面上产生侧滑。这要求横向力系数  $\mu$  要小于或等于轮胎与路面之间的横向摩阻系数  $\varphi$ , 即

$$\mu \leq \varphi \quad (2-4)$$

式中,  $\varphi$  为轮胎与路面的横向摩阻系数。它与路面的粗糙程度和潮湿泥泞程度、轮胎花纹和气压、车速和荷载等有关, 可按表 2-1 选用。

表 2-1 横向摩阻系数  $\varphi$  的取值

路面类型	路面状况			
	干 燥	潮 湿	泥 泞	冰 滑
水泥混凝土路面	0.7	0.5	—	—
沥青混凝土路面	0.6	0.4	—	—
过渡式及低级路面	0.5	0.3	0.2	0.1

(2) 舒适性分析。根据对国内外大量资料的分析可知, 随  $\mu$  值的变化, 乘客会有如下的心理反应。

- ① 当  $\mu < 0.10$  时, 不感到有曲线存在, 很平稳, 近似于在直线上行驶。
- ② 当  $\mu = 0.15$  时, 感到有曲线存在, 但尚平稳。
- ③ 当  $\mu = 0.20$  时, 感到有曲线存在, 略感不平稳。
- ④ 当  $\mu = 0.35$  时, 感到明显不平稳。
- ⑤ 当  $\mu > 0.40$  时, 感到非常不平稳, 有倾倒的危险感。

由此可知, 从乘客的舒适性出发,  $\mu$  值以不超过 0.1 为宜, 最大不超过 0.2。

(3) 经济性分析。通过大量研究得出,  $\mu$  值的大小与燃料消耗和轮胎磨损有关,  $\mu$  值增大则车辆的运营经济性就明显下降, 见表 2-2。

表 2-2 横向力系数与燃料消耗与轮胎磨损

横向力系数 $\mu$	燃料消耗/%	轮胎磨损/%
0	100	100
0.10	110	220
0.15	115	300
0.20	120	390

综上分析, 行车安全性、舒适性和经济性与  $\mu$  值大小密切相关, 因此,  $\mu$  值应根据行车速度、圆曲线半径及超高横坡度的大小, 在合理的范围内选择。

## 2) 圆曲线最小半径

从式(2-1)可知, 圆曲线半径越大, 横向力系数越小, 行车就越稳定, 所以从汽车行驶的稳定性出发, 圆曲线半径越大越好。但有时受地形、地质、地物等因素的限制, 圆曲线半径不可能设置得很大, 只能采用较小的半径, 这时如果半径选用的太小, 就会使汽车行驶不安全, 甚至翻车。所以必须综合考虑行车的安全性、迅速性、舒适性和经济性, 并兼顾路线和环境的美观, 使确定的最小半径能满足某种程度的行车要求。这种满足最低要求的半径数值, 就



是圆曲线的最小半径限制值。

《公路工程技术标准》根据各级公路的不同要求,规定了圆曲线最小半径有三类,即极限最小半径、一般最小半径和不设超高的最小半径。其中,极限最小半径主要保证行车安全,适当考虑舒适性;一般最小半径可使行车同时具有较好的安全性和舒适性;不设超高的最小半径是保证在不设超高的情况下行车也具有安全性和舒适性。

(1) 极限最小半径。极限最小半径是各级公路所能允许的圆曲线半径最小极限值,当地形困难或条件受限制时,方可采用。圆曲线极限最小半径见表 2-3。

表 2-3 圆曲线极限最小半径

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
横向力系数	0.10	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17
超高值/%	8	8	8	8	8	8	8
极限最小半径/m	650	400	250	125	60	30	15

(2) 一般最小半径。一般最小半径对按设计速度行驶的车辆能保证其安全性与舒适性,是设计时建议采用的值,它介于极限最小半径与不设超高的最小半径之间。圆曲线一般最小半径见表 2-4。

表 2-4 圆曲线一般最小半径

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
横向力系数	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
超高值/%	6	6	7	8	7	6	6
一般最小半径/m	1 000	700	400	200	100	65	30

(3) 不设超高的最小半径。当公路曲线半径较大、离心力较小时,汽车沿双向路拱外侧行驶的路面摩擦力足以保证汽车行驶的安全稳定,即不需要设置超高,此时所采用的最小半径就是不设超高的最小半径。

《公路路线设计规范》及《公路工程技术标准》规定的不设超高的圆曲线最小半径见表 2-5。

表 2-5 不设超高的圆曲线最小半径

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20	
不设超高圆曲线 最小半径/m	路拱≤2%	5 500	4 000	2 500	1 500	600	350	150
	路拱>2%	7 500	5 250	3 350	1 900	800	450	200

### 3) 圆曲线最大半径

公路平面线形设计选用圆曲线半径时,在地形等条件允许的前提下,应尽量采用大半径曲线,以保证行车的舒适性和安全性。但半径过大,常常会造成平曲线过长。曲线过长且地形平坦、景观单调时,驾驶者同样会感到疲劳、反应迟钝。当圆曲线半径大于 9 000 m 时,300~600 m 范围内(驾驶者视线所能集中的线段)的视觉效果同直线没有区别。过大的半径对测设和施工也不利。因此《公路路线设计规范》规定,圆曲线的最大半径不宜超过10 000 m。





#### 4) 圆曲线半径的选用

公路平面设计时,应根据沿线地形、地物等条件,尽量选用较大半径,以便安全舒适地行车。在选定半径时既要技术合理,又要注意经济适用;既不能盲目采用高标准而过分增加投资,也不能不考虑通行要求而采用低标准。在选用平曲线半径的三个最小半径时,若条件许可,则尽量使半径大于不设超高半径;若为一般条件或当地形有所限制时,则尽量使半径大于一般最小半径;若条件十分困难,则尽量使半径大于极限半径;若条件万分困难,万不得已时,经慎重考虑后可在个别地段使用极限最小半径。

选用半径时,还应注意前后线形的协调,不应突然采用小半径曲线。例如,长直线或线形较好路段,应避免紧接采用极限最小半径;从地形条件好的路段进入地形条件差的路段时,线形的技术指标应逐渐过渡,防止突变;为保证行车安全,位于平地或下坡的长直线的尽头不得采用小半径的平曲线。大中桥隧道内一般应为直线,必要设置曲线时,应尽量采用较大半径,半径最小也应大于等于不设超高的最小半径。

### 3. 平曲线长度要求

汽车在公路上行驶时,如果曲线很短,驾驶员就会频繁地操作方向且精神高度紧张,这在高速行驶的情况下是很危险的。同时,如果不设置足够长的曲线,使离心加速度的变化率小于一定数值,则乘客的心理感觉也会不好。因此,为便于驾驶员的操作,保障行车安全,满足一定的舒适要求,曲线必须有一定的长度。

平曲线包括圆曲线和缓和曲线。当平曲线内未设缓和曲线时,即只有圆曲线时,其超高缓和段或加宽缓和段的长度不计入平曲线内。公路平曲线长度的取值可从以下3个方面确定。

(1) 平曲线长度应至少要保证两条缓和曲线插入,以满足公路线形要求。

(2) 平曲线长度应满足司机操纵方向盘所需时间以及乘客的心理需求,也须保证两条缓和曲线的长度。

(3) 对小偏角弯道,还应从司机的视角及心理出发考虑其行驶的安全性。即司机在高速行驶时,会认为该弯道的曲线长度及曲线半径比实际要小,从而降低了行车速度;或不想减速时,势必会增大行车转弯半径而侵入其他车道,造成车祸。所以,平曲线长度的取值主要考虑以下两个方面。

① 平曲线最小长度。一般情况下,各级公路的平曲线应能够设置两段缓和曲线(或超高、加宽缓和段)及一段圆曲线,因此,平曲线最小长度不应小于2倍缓和曲线长。各级公路平曲线的最小长度的规定见表2-6。

表2-6 平曲线最小长度

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
一般值	600	500	400	300	200	150	100
最小值	200	170	140	100	70	50	40

注:“一般值”为正常情况下的采用值,“最小值”为条件受限制时可采用的值。

② 公路转角小于7°时的平曲线长度。当公路转角小于7°时,曲线长度往往看上去较实际长度短。因为在曲线两端附近的部分会被误认为是直线,只有在交点附近的部分才能看出是曲线,这就使驾驶员产生急转弯的错觉。为避免形成视觉错误、保证行车安全,在进行



平面设计时应避免设置小于 $7^{\circ}$ 的转角。当因条件限制不得已设置小转角时,在偏角不大于 $7^{\circ}$ 的转角处应设置较长的平曲线,其长度应大于表 2-7 所列的值。

表 2-7 公路转角等于或小于 $7^{\circ}$ 时的平曲线长度

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
平曲线长度/m	1 400/ $\Delta$	1 200/ $\Delta$	1 000/ $\Delta$	700/ $\Delta$	500/ $\Delta$	350/ $\Delta$	280/ $\Delta$

注:表中的 $\Delta$ 为路线转角值( $^{\circ}$ ),当 $\Delta < 2^{\circ}$ 时,按 $\Delta = 2^{\circ}$ 计算。

### 三、缓和曲线

缓和曲线是公路平面线形要素之一,它是设置在直线与圆曲线之间或半径相差较大的两个转向相同的圆曲线之间的一种曲率连续变化的曲线。当汽车从直线进入圆曲线时,驾驶员应逐渐转动方向盘,以改变前轮的转向角,使其适应相应半径的圆曲线。前轮的逐渐转向是在进入圆曲线前的某一段内完成的。直线上半径为无穷大,圆曲线上半径为 $R$ ,从直线过渡到圆曲线,汽车行驶轨迹的曲率半径是不断变化的,缓和曲线段就是指从直线上半径无穷大到圆曲线的定值之间的曲率半径逐渐变化的曲线段。

《公路工程技术标准》规定,除四级公路可不设缓和曲线外,其余各级公路都应设置缓和曲线。在现代高速公路上,有时缓和曲线所占的比例超过了直线和圆曲线,成为平面线形的主要组成部分。

#### 1. 缓和曲线的作用

##### 1) 便于驾驶操作

汽车从直线驶入圆曲线,其曲率半径从无穷大变到一个定值,这时汽车的前轮转向角需要经过一段距离逐渐变化,才能使汽车较为安全舒适地进入圆曲线。缓和曲线通过其曲率的逐渐变化,恰好能适应汽车转向操作的行驶轨迹及路线的顺畅,以构成美观并视觉协调的最佳线形。

##### 2) 消除离心力的突变

直线段上无离心力,而圆曲线上存在离心力。如果不设缓和曲线,则汽车直接从直线段上进入圆曲线,所受离心力在切点处产生突变,不利于行车的安全性和舒适性;相反,如果在直线和圆曲线间插入缓和曲线,汽车在行驶过程中是从没有离心力的直线段逐渐进入到离心力为一定值的圆曲线,这就消除了离心力的突变。

##### 3) 完成超高和加宽的过渡

为保证线形顺畅、避免转折,当弯道需要设置超高、加宽时,应在缓和曲线内逐渐过渡到全超高或全加宽。

##### 4) 增加线形美观

圆曲线与直线径相连接,则在连接处曲率突变,在视觉上给人不平顺的感觉。设置缓和曲线以后,线形连续顺滑,美观度大大增加。直线与曲线连接效果如图 2-2 所示。



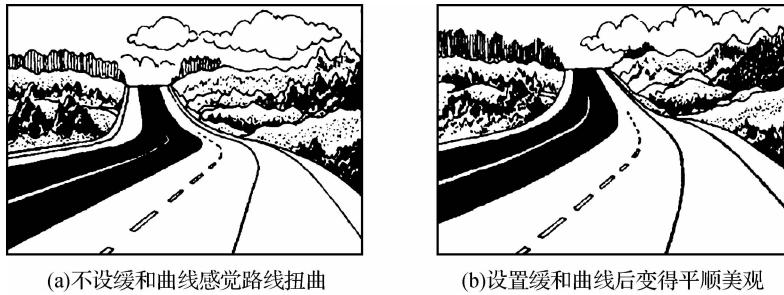


图 2-2 直线与曲线连接效果

## 2. 缓和曲线的形式

当汽车逐渐由直线驶入圆曲线时,行驶半径会由无穷大过渡到圆曲线半径  $R$ 。假定汽车做匀速行驶且司机操纵方向盘做匀角速转动,则在此情况下分析汽车转弯时的理论轨迹可知:该曲线上任一点的曲率半径与该点至曲线起点的距离成反比,因此平面线形设计需建立一个符合此特点的数学模型作为缓和曲线。

### 1) 回旋线

回旋线是公路路线设计中最常用的一种缓和曲线,《公路工程技术标准》规定缓和曲线采用回旋线。回旋线的基本公式为

$$rl = A^2 \quad (2-5)$$

式中,  $r$  为回旋线上某点的曲线半径(m);  $l$  为回旋线上某点到原点的曲线长(m);  $A$  为回旋线参数, 表征回旋线曲率变化的缓急程度。

回旋线的曲率是连续变化的,而且其曲率的变化与曲线长度的变化呈线性关系。因此,可以认为回旋线的形状只有一种,只需改变参数  $A$  就能得到不同大小的回旋曲线,即  $A$  相当于回旋线的放大系数。

在回旋线的任意点上,  $r$  是随  $l$  的变化而变化的,但在回旋线的终点处,  $l=L_s$ ,  $r=R$ , 故式(2-5)可写为

$$RL_s = A^2 \quad (2-6)$$

则参数

$$A = \sqrt{RL_s} \quad (2-7)$$

式中,  $R$  为回旋线所连接的圆曲线的半径(m);  $L_s$  为回旋线的长度(m)。

在设计时,可以由已知  $R$  和  $L_s$  计算  $A$ ,也可以按各种条件选择  $R$  和  $A$ ,再计算  $L_s$ 。

### 2) 其他形式缓和曲线

#### (1) 三次抛物线。三次抛物线的方程式为

$$\begin{aligned} x &= l \\ y &= \frac{x^3}{6C} \end{aligned} \quad (2-8)$$

其中,  $C=RL_s$ 。

三次抛物线的曲率半径与回旋线一样也是随长度由无穷大逐渐减小的,但当三次抛物线的角  $\beta$  达到  $24^\circ$  后,曲率半径又开始增加,因此三次抛物线只能在  $\beta \leq 24^\circ$  的条件下作为缓和曲线。

#### (2) 双纽线。双纽线的方程式为

$$r = \frac{C}{a} \quad (2-9)$$



当双纽线的极角为 $45^\circ$ 时,曲线半径最小。此后半径增大至原点,全程转角达到 $270^\circ$ 。因此,当弯道转角较大,半径较小时,可以采用双纽线设置整个弯道,以代替两段缓和曲线和一段主曲线,如回头曲线或立体交叉的匝道。

如图2-3所示,回旋线、三次抛物线和双纽线在极角较小( $5^\circ\sim6^\circ$ )时,几乎没有差别。但随着极角的增大,三次抛物线的长度要比双纽线的长度增加得快,而双纽线的长度又比回旋曲线的长度增加得快。回旋曲线的曲率半径减小得最快,而三次抛物线减小得最慢。从保证汽车平顺过渡的角度来看,三种曲线都可以作为缓和曲线。此外, $n$ 次( $n\geq 3$ )抛物线、正弦形曲线、多圆弧曲线也可作为缓和曲线的。目前世界各国使用回旋曲线居多,我国的《公路工程技术标准》推荐的缓和曲线也是回旋曲线。

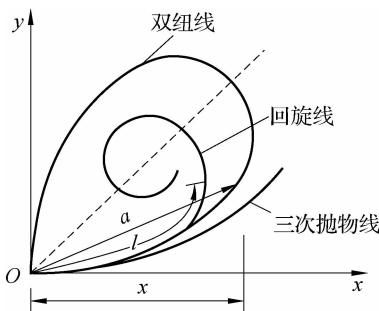


图2-3 回旋曲线、三次抛物线和双纽线

### 3. 缓和曲线的最小长度

缓和曲线应有足够的长度,以使乘客感觉舒适,保证驾驶员操纵所需的时间,保证线形圆滑顺适等。因此,应规定缓和曲线的最小长度,可从以下几方面考虑。

#### 1) 根据离心加速度变化率考虑

汽车以速度 $v$ (m/s)在缓和曲线上行驶时,若在时间 $t$ (s)内从缓和曲线起点到达终点,行驶距离为缓和曲线长度 $L_s$ ,而缓和曲线的曲率半径由无穷大均匀变化到 $R$ ,离心加速度则由零均匀增加到了 $a_{\max}$ ,因此离心加速度的变化率为

$$a_t = \frac{a_{\max}}{t} = \frac{v^2}{Rt} \quad (2-10)$$

其中

$$t = \frac{L_s}{v}$$

将 $t$ 的表达式代入式(2-10),并将 $v$ (m/s)以 $V$ (km/h)代替,得

$$a_t = \frac{V^3}{47R \cdot L_s} \quad (2-11)$$

$$L_s = \frac{V^3}{47R \cdot a_t} \quad (2-12)$$

式中, $a_t$ 为离心加速度变化率( $m/s^3$ )。

为使缓和曲线符合汽车运行特性,保证乘车的舒适性及良好的线形视觉效果,应将离心加速度变化率限制在一定范围内,即在 $0.5\sim0.6 m/s^3$ 之间,等级高的公路取低值。

#### 2) 根据驾驶员操作及反应时间考虑

在汽车从直线进入圆曲线的转向行驶过程中,驾驶员需要把方向盘渐进地转动一个角度,这一操作过程需要一定时间,即汽车在缓和曲线上行驶的时间不宜太短,否则会使驾驶员操作过于紧张而不利于安全行车。





一般要求汽车在缓和曲线上行驶的时间不小于3 s,设汽车在缓和曲线上行驶的必要最长时间为 $t(s)$ ,汽车行驶速度为 $V(km/h)$ ,故缓和曲线的最小长度为

$$L_{\text{min}} = vt = \frac{V}{1.2} \quad (2-13)$$

### 3)根据超高渐变率考虑

超高渐变率是指缓和曲线上设置超高缓和段后,因路基外侧由双向横坡逐渐变成单向超高横坡所产生的附加纵坡。当附加纵坡过小时,不利于排水;当附加纵坡过大时,路容不美观。为了保证适中的超高渐变率,就需确定合适的缓和曲线长度。缓和曲线的最小长度为

$$L_s = \frac{B\Delta i}{p} \quad (2-14)$$

式中, $B$ 为旋转轴至行车道(设路缘带时为路缘带)外侧边缘的宽度(m); $\Delta i$ 为超高坡度与路拱坡度的代数差(%); $p$ 为超高渐变率,即旋转轴至行车道外侧边缘线之间的相对坡度。

综合考虑以上各项因素,《公路路线设计规范》规定了各级公路缓和曲线(回旋线)的最小长度,见表2-8。

表2-8 各级公路回旋线最小长度

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
回旋线最小长度/m	100	85	70	50	35	25	20

注:四级公路为超高、加宽过渡段长度。

### 4. 缓和曲线的省略

《公路路线设计规范》规定,在下列情况下可不设回旋线。

(1)在直线与圆曲线间,当圆曲线半径大于表2-5规定时。

(2)半径不同的同向圆曲线相连接时,符合下列条件可不设置缓和曲线。

①小圆半径大于表2-5所列“不设超高的圆曲线最小半径”时。

②小圆半径大于表2-9中所列半径,且符合下列条件之一时。

- 小圆按最小回旋线长度设回旋线时,大圆与小圆的内移值之差小于0.1 m时。

- 设计速度不小于80 km/h,大圆半径( $R_1$ )与小圆半径( $R_2$ )之比小于1.5时。

- 设计速度小于80 km/h,大圆半径( $R_1$ )与小圆半径( $R_2$ )之比小于2时。

表2-9 复曲线中小圆临界圆曲线半径

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30
临界圆曲线半径/m	2 100	1 500	900	500	250	130

### 5. 缓和曲线的计算

#### 1)缓和曲线的直角坐标方程式

如前所述,缓和曲线采用的是回旋线,回旋线的极坐标方程为 $l=A^2/\rho$ 。但在工程应用中,缓和曲线的测设一般是采用直角坐标系进行的。所以,必须建立起回旋线的直角坐标方程。

首先建立如图2-4所示的坐标系。

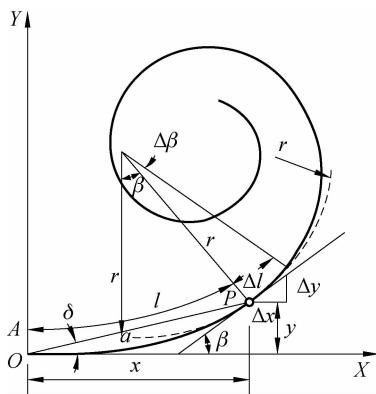


图 2-4 直角坐标系下的回旋线

该坐标原点  $O$  为回旋线起点;  $X$  轴为通过回旋线起点的切线;  $Y$  轴为垂直于该线的坐标轴。在回旋线上任取一点  $P$ , 则  $P$  点坐标  $(x, y)$  及回旋线的转角  $\beta$  为

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \frac{l^2}{2A^2} = \frac{l^2}{2R \cdot L_s} \\ x &= l - \frac{l^5}{40A^4} = l - \frac{l^5}{40R^2 L_s^2} \\ y &= \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} = \frac{l^3}{6RL_s} - \frac{l^7}{336R^3 L_s^3} \end{aligned} \right\} \quad (2-15)$$

式中,  $x, y$  为  $P$  点的  $X, Y$  轴坐标值;  $l$  为  $P$  点至  $O$  点的距离( $m$ );  $\beta$  为  $P$  点处的法线方向与  $Y$  轴的夹角。

## 2) 设置缓和曲线的公路平曲线要素计算

设置回旋线的公路平曲线基本图式如图 2-5 所示。公路平面线形三要素的基本组成是: 直线—回旋线—圆曲线—回旋线—直线。其几何元素的计算公式如下。

$$\text{回旋线角: } \beta_0 = 28.6479 \frac{L_s}{R} \quad (2-16)$$

$$\text{切移距: } q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} \quad (2-17)$$

$$\text{内移值: } p = \frac{L_s^2}{24R} - \frac{L_s^4}{2384R^3} \quad (2-18)$$

$$\text{切线总长: } T = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q \quad (2-19)$$

$$\text{曲线总长: } L = (\alpha - 2\beta_0) \frac{\pi}{180} R + 2L_s \quad (2-20)$$

$$\text{外距: } E = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R \quad (2-21)$$

$$\text{校正值(即曲切差): } D = 2T - L \quad (2-22)$$

该曲线共有 5 个主点里程桩号需要计算出来, 即: ①  $ZH$ , 第一缓和曲线起点(直缓点); ②  $HY$ , 第一缓和曲线终点(缓圆点); ③  $QZ$ , 曲线中点(曲中点); ④  $YH$ , 第二缓和曲线终点(圆缓点); ⑤  $HZ$ , 第二缓和曲线起点(缓直点)。

曲线的 5 个主点里程桩号是由交点里程桩号推算出来的。如果分别以  $JD$  及上面 5 个





符号代表相应的公路里程,则根据图 2-5 可得

$$\left. \begin{array}{l} ZH=JD-T \\ HY=ZH+L_s \\ QZ=ZH+L/2 \\ YH=HZ-L_s \\ HZ=ZH+L \\ JD=QZ+D/2 \end{array} \right\} \quad (2-23)$$

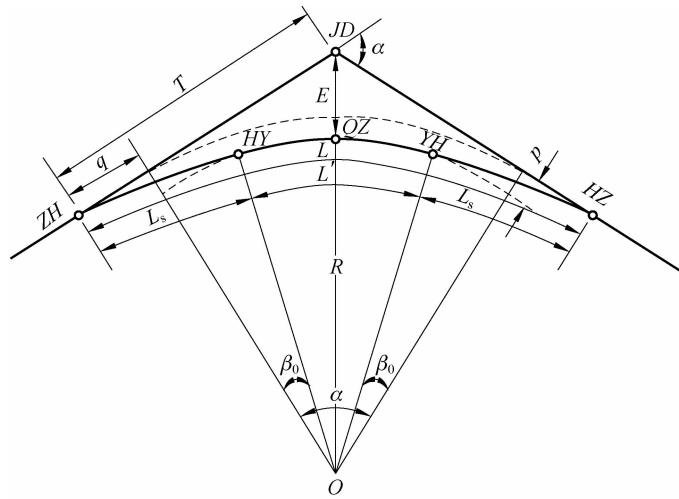


图 2-5 平面线几何要素

### 3) 计算例题

某二级公路,设计速度为 80 km/h,现在有一弯道,其平曲线半径  $R=260$  m,其回旋线  $l_h=70$  m,交点 JD 桩号为 K16+721.26,其交点偏角为  $\alpha=29^{\circ}23'24''$  设置缓和曲线后的 5 个主要里程桩号。

解:(1)计算回旋线常数。计算过程如下。

$$p=\frac{l_h^2}{24R}=\frac{70^2}{24\times 260}=0.79 \text{ m}$$

$$\beta=\frac{l_h}{2R}\times\frac{180}{\pi}=\frac{70\times 180}{2\times 260\times \pi}=7^{\circ}42'46''$$

$$x_h=l_h-\frac{l_h^3}{40R^2}=70-\frac{70^3}{40\times 260^2}=69.87 \text{ m}$$

$$y_h=\frac{l_h^2}{6R}-\frac{l_h^4}{336R^3}=\frac{70^2}{6\times 260}-\frac{70^4}{336\times 260^3}=3.14 \text{ m}$$

(2)判断能否设置回旋线,即  $\alpha>2\beta$  是否成立。

$$2\beta=2\times 7^{\circ}42'46''=15^{\circ}25'32''$$

$$\alpha=29^{\circ}23'24''$$

$\alpha>2\beta$ ,符合要求,能设置回旋线。



(3) 曲线要素计算。

切移距:

$$q = \frac{l_h}{2} - \frac{l_h^3}{240R^2} = \frac{70}{2} - \frac{70^3}{240 \times 260^2} = 34.98 \text{ m}$$

切线长:

$$T_h = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q = (260 + 0.78) \tan \frac{29^\circ 23' 2''}{2} + 34.98 = 103.37 \text{ m}$$

曲线长度:

$$L_h = \alpha R \frac{\pi}{180} + l_h = 29^\circ 23' 24'' \times 260 \times \frac{\pi}{180} + 70 = 203.36 \text{ m}$$

外距:

$$E_h = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R = (260 + 0.79) \sec \frac{29^\circ 23' 24''}{2} - 260 = 9.60 \text{ m}$$

圆曲线长度:

$$L_y = L_h - 2l_h = 203.36 - 140 = 63.36 \text{ m}$$

校正值:

$$D_h = 2T_h - L_h = 2 \times 103.37 - 203.36 = 3.38 \text{ m}$$

(4) 主点里程桩号计算。

JD	K16+721.26
-) T <sub>h</sub>	103.37
ZH	+617.89
+) l <sub>h</sub>	70.00
HY	+687.89
+) L <sub>y</sub>	63.36
YH	+751.25
+) l <sub>h</sub>	70.00
HZ	+821.25
-) L <sub>h</sub> /2	101.68
QZ	+719.57
+) D <sub>h/2</sub>	1.69
JD	K16+721.26(计算正确)

#### 四、平面线形的组合与衔接

为保证汽车安全、舒适地行驶,应使路线线形圆滑、顺适,各线形要素之间要有连续性和均衡性,直线段与曲线段的敷设应彼此协调而成比例。因为,平面线形的组合与衔接不当可能会令人感到单调、乏味,行车视距条件较差,甚至发生交通事故。所以,平面线形设计应根





据地形变化及地物状况,因地制宜地巧妙组合运用。

### 1. 简车型曲线

当一个弯道曲线由直线与圆曲线组合时,该曲线称为简单型曲线,即按直线—圆曲线—直线的顺序组合,如图 2-6 所示。简单型组合曲线在 ZY 和 YZ 点处有曲率突变点,对行车不利;当圆曲线半径较小时,该处线形也不顺适。因此,简单型组合曲线一般限用于四级公路。在其他等级公路中,当平曲线半径大于不设超高半径时,可省略缓和曲线以构成简单型曲线。

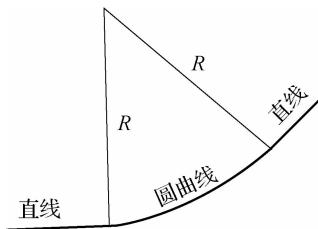


图 2-6 简车型曲线

### 2. 基本型曲线

基本型曲线是按直线—回旋线—圆曲线—回旋线—直线的顺序组合而成,如图 2-7 所示。

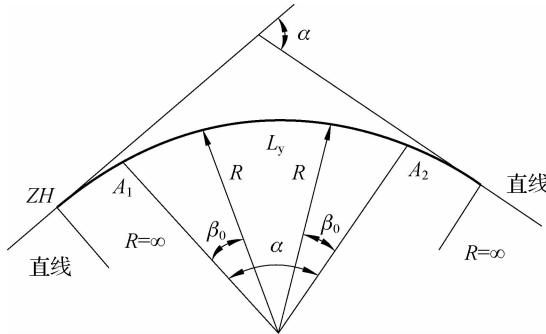


图 2-7 基本型曲线

基本型曲线中的回旋线参数、圆曲线最小长度都应符合有关规定。两回旋线参数可以相等,以构成对称基本型曲线;也可以不相等,以顺应地形条件构成非对称基本型曲线,即  $A_1 \neq A_2$ ,但  $A_1 : A_2$  不应大于 2.0。从线形的协调性看,宜将回旋线、圆曲线、另一条回旋线的长度比设计成 1:1:1。

### 3. S 形曲线

当两反向圆曲线相衔接或插入的直线长度不足时,可用回旋线将两反向圆曲线连接组合成 S 形曲线,如图 2-8 所示。

考虑行驶力学和线形协调、超高过渡等方面,S 形曲线相邻两个回旋线参数  $A_1$  和  $A_2$  值最好相等。必须采用不同的参数时, $A_1$  和  $A_2$  之比应小于 2,有条件时以小于 1.5 为宜。

S 形曲线的两个反向回旋线以径相连接为宜。当受地形及其他条件限制而不得不插入短直线时,其短直线的长度  $l(m)$  应符合下面的条件。

$$l \leq \frac{A_1 + A_2}{40} \quad (2-24)$$

S 形曲线中的两圆曲线半径之比不宜过大,以  $R_2/R_1 = 1/3 \sim 1$  为宜( $R_1$  为大圆曲线半



径,  $R_2$  为小圆曲线半径)。

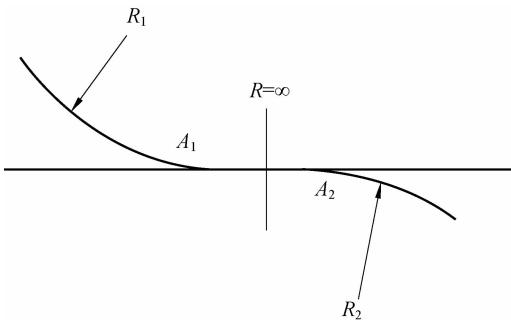


图 2-8 S 形曲线

#### 4. 卵形曲线

卵形曲线是用一个回旋线将两同向圆曲线连接组合而成的,如图 2-9 所示。卵形曲线的回旋线参数宜为  $R_2/2 \leq A \leq R_2$ 。两圆曲线半径之比  $R_2/R_1$  以  $0.2 \sim 0.8$  为宜( $R_2$  为小圆曲线半径、 $R_1$  为大圆曲线半径)。两圆曲线的间距  $D/R_2$  以  $0.003 \sim 0.03$  为宜( $D$  为两圆曲线间的最小间距)。

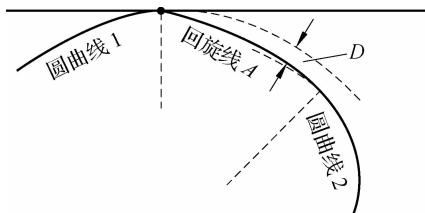


图 2-9 卵形曲线

#### 5. 凸形曲线

凸形曲线是由两同向回旋线在曲率相同处径相衔接组合而成的,如图 2-10 所示。

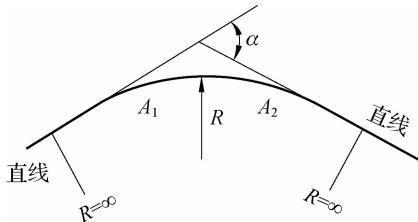


图 2-10 凸形曲线

凸形曲线只有在路线严格受地形限制,且对接点的曲率半径相当大时方可采用。凸形曲线的回旋线参数应符合容许最小回旋参数的规定,其对接点的曲率半径应符合容许圆曲线最小半径的规定。

#### 6. 复合型曲线

受地形条件限制时,可采用两个或两个以上同向回旋线在曲率相同处径相连接,这样组合而成的就是复合型曲线,如图 2-11 所示。





图 2-11 复合型曲线

复合型曲线的两个回旋线参数之比以小于 1.5 为宜。复合型曲线除因地形或其他特殊原因限制外,一般很少使用。可在互通式立体交叉的匝道设计中看到复合型曲线的应用。

### 7. C形曲线

C形曲线是由两同向圆曲线的回旋线在曲率为零处径相衔接组合而成的,如图 2-12 所示。

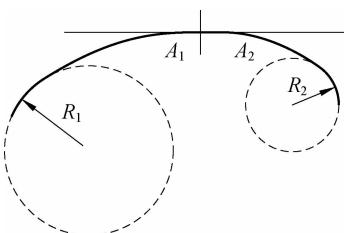


图 2-12 C 形曲线

C形曲线相当于中间直线长度为零的两基本型的同向曲线。它对行车和线形都有一些不利影响,所以仅在地形特殊、路线严格受限时采用。

### 8. 回头曲线

回头曲线是由一个主曲线、两个辅助曲线和主、辅曲线所夹的直线段组合而成的复杂曲线,如图 2-13 所示。回头曲线一般在山区公路为克服高差在同一坡面上展线时采用,其圆心角一般接近或大于  $180^\circ$ 。

回头曲线转角大、半径小、线形差,一般越岭路线应利用地形自然展线,避免设置回头曲线。当三级公路、四级公路在自然展线无法争取需要的距离以克服高差时,或因地形、地质条件所限不能采取自然展线时,方可设置回头曲线。

回头曲线的前后线形应连续、均匀、通视良好,两端宜布设过渡性曲线,且设置限速标志、交通安全设施等。

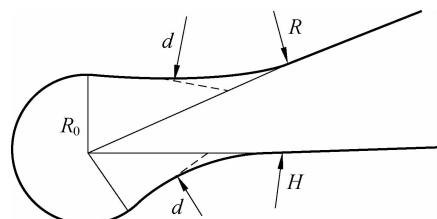


图 2-13 回头曲线

## 五、公路平面设计成果

公路路线的平面设计主要包括路线平面设计图、路线总体布置图、公路用地图、纸上移线图等设计文件;主要的表格有直线、曲线及转角一览表,逐桩坐标表,路线固定表,总里程及断链表等。这里仅就“直线、曲线及转角一览表”与“路线平面设计图”进行介绍。

### 1. 直线、曲线及转角一览表

直线、曲线及转角一览表是设计文件的内容之一,也是平面设计的主要成果之一。它是通过测角、丈量中线和设置曲线而获得的成果,反映了设计者对平面线形的布设意图,也是绘制路线平面图的依据。直线、曲线及转角一览表的格式见表 2-10。



表 2-10 直线、曲线、转角一览表



## 2. 路线平面设计图

路线平面设计图是公路设计文件的重要组成部分。通过路线平面设计图,既可以反映出公路的平面位置和所经过地区的地形、地物等,还可以反映出路线所经地段的各种结构物(如挡土墙、边坡、排水结构、桥涵等)的具体位置以及和地形、地物的关系。它是设计人员对路线设计意图的总体体现。路线平面设计图对有关部门审批、专家评议、设计初审、设计会审、工程施工以及指导后续工作(如施工图设计、施工放样等)有重要的作用。

### 1) 平面设计图组成

路线平面设计图是绘有公路中线的地形图,通过它可以反映出路线的方位,平面线形(直线和左、右弯道),沿路线两侧一定范围内的地形、地物与路线的相互关系以及结构物的平面位置。其内容包括地形和路线。

(1) 地形部分。路线平面设计图中的地形部分也就是原始的地形图。在设计时,借助它作为纸上定线移线之用。识读路线平面设计图的地形部分,可从以下方面着手。

① 方位。为了表示地区的方位和路线的走向,地形图上需画出坐标网或指北针。

符号是方位的坐标网表示法,其 X 轴向为南北方向(上为北),Y 轴向为东西方向(右为东)。

表示两垂直线的交点坐标为距坐标网原点北 300、东 200 单位(m)。

符号为指北针,箭头所指为正北方向。

② 比例。为了清晰地表示图样,根据地形起伏情况的不同,可采用相应比例来绘制地形图。一般在山岭重丘区采用 1:2000,微丘区和平原区采用 1:5000。

③ 地物。地物如河流、农田、房屋、桥梁、铁路等是用图例来表示的。表 2-11 列举了路线平面设计图中常见的图例。

表 2-11 路线平面设计图常见图例

名称	图例	名称	图例	名称	图例
机场		港口		井	
学校		交电室		房屋	
土堤		水渠		烟囱	
河流		冲沟		人工开挖	
铁路		公路		大车道	
小路		低压电力线		电讯线	
		高压电力线			



续表

名 称	图 例	名 称	图 例	名 称	图 例
果园	○ ○ ○	旱地	田 田 田 田	草地	○ ○
林地	○ ○ ○ ○ ○ ○	水田	× × × ×	菜地	£ £
导线	▽ ——	三角点	△ ——	图根点	○
水准点	● ——	切线交点	○	指北针	○

④地形。路线所在地带的地势起伏情况是用等高线来表示的。

(2)路线部分。公路路线在平面上是由一系列的直线段和曲线段组成。识读路线平面设计图的路线部分,可从以下方面着手。

①桩号。路线平面设计图中以加粗的实线来表示公路的中线(设计线)。路线的长度用里程表示,里程桩号的标注应在公路中线上从路线起点到终点,按从小到大、从左往右的顺序排列。公里桩(也称千米桩)宜标注在路线前进方向的左侧,用符号(○)表示,用“K×××”表示其公里数(也称千米数);百米桩宜标注在路线前进方向的右侧(也可以在左侧),用垂直于路线的短细线表示桩位,用阿拉伯数字表示百米数。公路平面设计图示例如图 2-14 所示。

②平曲线。路线的平面线形有直线形和曲线形,而曲线又包括圆曲线和缓和曲线。对于曲线形路线的公路转弯处,在平面图中是用交点 JD 来表示,并沿前进方向按顺序对交点进行编号,如图 2-14 所示,JD<sub>5</sub> 表示第 5 号交点。在路线平面设计图中的曲线表里可查得转角  $\alpha$ ( $\alpha_z$  为左转角、 $\alpha_y$  为右转角),它是沿路线前进方向,向左或向右偏转的角度。此外,圆曲线设计半径 R、切线长 T、曲线长 L、外距 E,以及设有缓和曲线段路线的缓和曲线长 L<sub>s</sub>,都可在路线平面图中的曲线表里查得,如图 2-14 所示。路线平面图设计中对圆曲线还需标出曲线起点 ZY(直圆点)、中点 QZ(曲中点)、曲线终点 YZ(圆直点)的位置,对带有缓和曲线段的路线则需标出 ZH(直缓点)、HY(缓圆点)和设计 YH(圆缓点)、HZ(缓直点)的位置。

③结构物和控制点。在平面设计图中还须标示出公路沿线的工程构造物和控制点,如桥涵、三角点和水准点等。工程图中常出现的图例参见表 2-11。通过这些图例可从路线平面设计图中了解到公路沿线的地物、地貌、建筑以及工程构造物的位置、类型和分布情况,以及控制点的坐标和高程,例如,∠S11 表示 S 系列第 11 号三角点;BM<sub>3</sub> 表示第 3 号水准点,其高程为 742.84 m。

## 2)识图要点

识读平面设计图可按下列顺序进行。

- (1)先看清路线平面设计图中的控制点、坐标网(或指北针方向)以及画图所采用的比例。
- (2)看地形图,了解路线所处区域的地形、地物分布情况。
- (3)看路线设计线,了解路线在平面中的走向。
- (4)了解平曲线的设置情况及平曲线要素。
- (5)注意路线与公路、铁路、河流交叉的位置。
- (6)将前后路线平面图拼接起来后,了解路线在平面图中的总体布置情况。



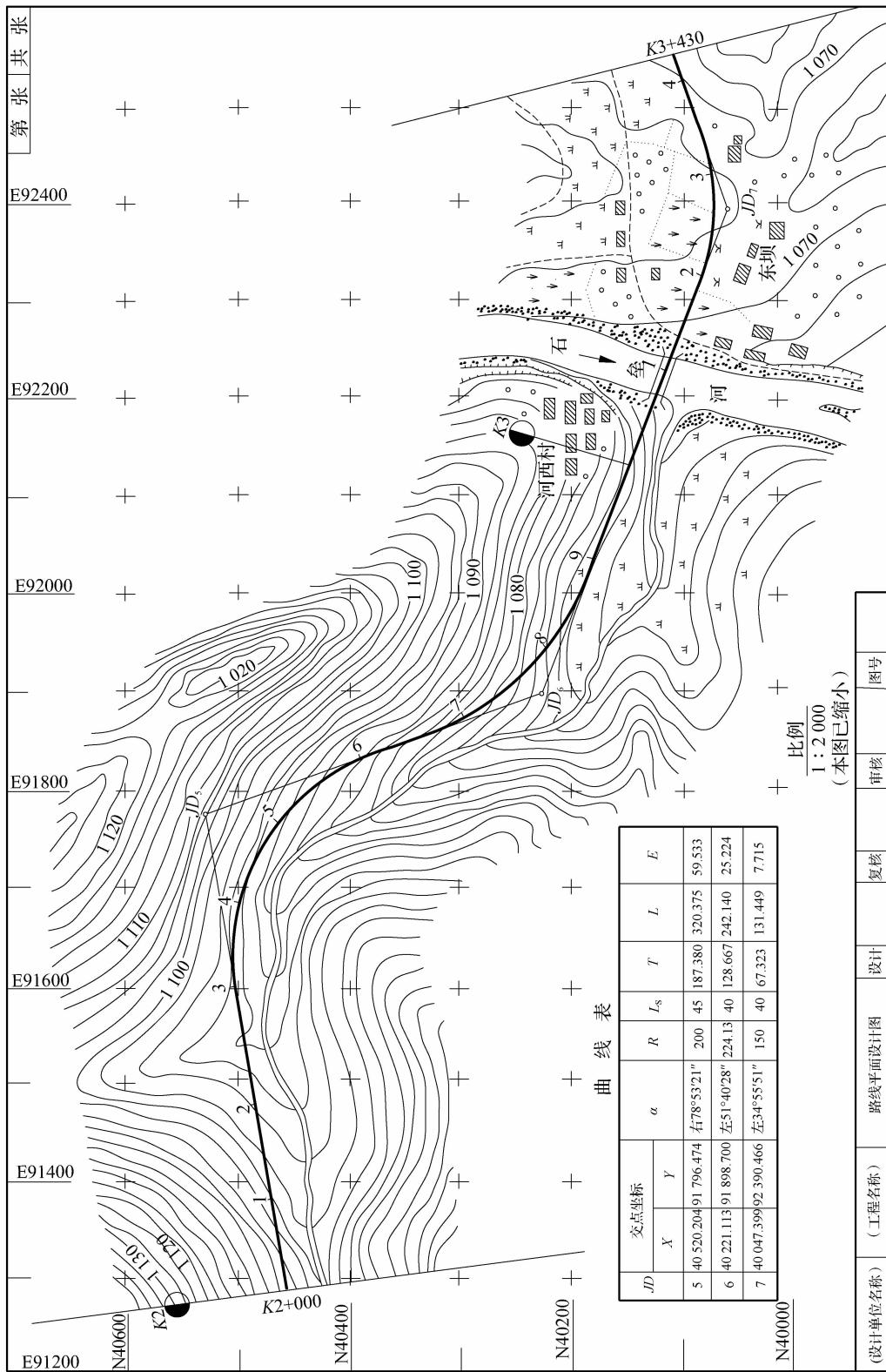


图 2-14 公路平面设计图示例



## 课题二 公路纵断面

### 一、纵断面基本认知

通过公路中线的竖向剖面称为公路纵断面。纵断面主要反映路线起伏、纵坡与原地面的切割情况。在纵断面上有两条主要线条：地面线与设计线。地面线又称黑线，它是通过公路中线原地面各点的连线。地面上各点的标高称为地面标高，它是一条不规则的空间折线，基本上反映了路中线地面高低变化的概况。设计线是根据公路等级、汽车爬坡性能、地形条件、路基临界高度、运输与工程经济，以及视觉方面的要求等，通过技术上、经济上和美学上的比较后确定的由坡度线和竖曲线组成的空间线。设计线上各点的标高称为设计标高。

公路的纵断面设计线是由不同的上坡段、下坡段(统称坡段)和连接相邻两坡段的竖曲线组成的，纵断面设计线的基本线形由坡度线和竖曲线组成。相邻两坡度线的交点称为转坡点，转坡点前后两坡度线的坡度之差称为转坡角。在转坡点处应设竖曲线，按坡度转折形式的不同，竖曲线可分为凹形竖曲线和凸形竖曲线，其大小用半径和水平长度表示。

路线的纵向坡度简称纵坡，用符号*i*表示，其值为

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} \times 100\% \quad (2-25)$$

式中， $H_1$ 、 $H_2$  表示以路线前进方向为序的坡度线两端点的标高(m)； $L$  表示坡度线两端点间的水平距离，称坡度线长度，简称坡长(m)。路线的纵坡按路线前进方向，上坡时  $i$  为“+”，下坡时  $i$  为“-”。

同一桩点的设计标高与地面标高的差值称为施工高度，又称填挖高度。若该桩点的施工高度为“+”，即设计标高大于地面标高，这样的路段即为填方路段；若施工高度为“-”，则为路堑，这样的路段为挖方路段。对于纵断面上的设计标高，即路基(包括路面厚度)的设计标高，有如下规定。

(1) 新建公路的路基设计标高。高速公路、一级公路采用中央分隔带的外侧边缘标高，二、三、四级公路采用路基设计标高。在设置超高加宽的路段采用超高加宽前该处原路基边缘的标高。

(2) 改建公路的路基设计标高。一般按新建公路的规定办理，也可视具体情况而采用中央分隔带或行车道中线标高。

### 二、汽车行驶对公路纵坡的要求

由汽车动力特性分析可知，汽车上坡时，若公路纵坡较缓，汽车的行驶阻力代数和不大于汽车所用挡位牵引力，汽车就能采用该挡位以等速或加速走完该段纵坡的全长。汽车所用的挡位越高，行驶速度就越快，但爬坡能力就越差。因此，公路纵坡设计总是力求纵坡较缓，特别是等级较高的公路。





当公路纵坡较陡,汽车上坡时行驶阻力的代数和大于汽车所用挡位的牵引力时:在坡段较短的情况下,只要在上坡之前加大汽车油门,提高汽车的初速度,利用动力冲坡的惯性原理,在车速降到临界速度之前即使不换挡也能冲过此段纵坡;如果公路纵坡既陡又长,汽车利用动力冲坡无法冲过坡顶,此时就必须在车速下降到某一程度时(如临界车速),换到较低挡位来获得较大的动力因数,从而增大牵引力,这样汽车才能继续走完全程。但挡位越低,汽车的行驶速度越慢。

汽车使用低挡的行程时间越长或换挡次数频繁,会延长行程时间,增加汽车燃料消耗和机件磨损。从汽车的动力特性可知,公路纵坡对车速的影响极大,因为纵坡越陡,需要的动力因素越大,从而导致采用的挡位越低,行驶速度越慢。为了使汽车能保持较高的车速行驶,应少用低挡和减少换挡次数。公路纵坡设计应遵循如下原则:①纵坡度应力求平缓;②陡坡宜短,长陡坡的纵坡度应加以严格限制;③纵坡度变化不宜太多,尤其应避免急剧的起伏变化,力求纵坡均匀。

### 三、纵坡与坡长设计的一般规定

#### 1. 纵坡

##### 1) 最大纵坡

最大纵坡是指在纵断面设计中,各级公路允许采用的最大坡度值。越岭公路常常采用较大纵坡,这是因为纵坡越大,路程就越短,一般来说工程量也越省。但由于汽车牵引力有一定的限制,纵坡不能采用太大值,因此必须对最大纵坡加以限制。

确定最大纵坡的主要依据是汽车的动力特性、公路等级、自然条件、车辆行驶安全以及工程、运营经济等因素。汽车沿陡坡行驶时,为克服升坡阻力及其他阻力需要增大牵引力,因此车速会降低。若陡坡过长,汽车水箱会出现“开锅”(即沸腾)、气阻等情况,严重时,发动机熄火,从而使驾驶条件更加恶化。若沿陡坡下行,因制动次数增多,制动器易发热而失效,同时增加司机的心理紧张度,这些都容易引起交通事故。当公路泥泞时,这类情况更为严重。因此,《公路路线设计规范》规定了公路的最大纵坡,见表 2-12。

表 2-12 公路最大纵坡

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
最大纵坡/%	3	4	5	6	7	8	9

注 1:设计速度为 120 km/h、100 km/h、80 km/h 的高速公路,受地形条件或其他特殊情况限制时,经技术经济论证最大纵坡可增加 1%。

注 2:设计速度为 40 km/h、30 km/h、20 km/h 的公路,改建工程利用原有公路的路段,经技术经济论证,最大纵坡可增加 1%。

注 3:四级公路位于海拔 2 000 m 以上或积雪冰冻地区的路段,最大纵坡不应大于 8%。

##### 2) 最小纵坡

为了保证挖方路段、设置边沟的低填方路段和横向排水不畅路段的排水,以防止积水渗入路基而影响其稳定性,一般在这些路段避免采用水平纵坡。所以,《公路路线设计规范》规定:“公路的纵坡不宜小于 0.3%。横向排水不畅的路段或长路堑路段,采用平坡(0%)或小于 0.3% 的纵坡时,其边沟应作纵向排水设计。”



### 3) 高原地区纵坡折减

在海拔3 000 m以上的高原地区,空气稀薄会使汽车发动机功率降低,相应地降低了汽车的爬坡能力;此外,在高原地区行车,汽车水箱容易“开锅”,破坏冷却系统。因此设计速度小于或等于80 km/h位于海拔3 000 m以上高原地区的公路,最大纵坡应按表2-13的规定予以折减。最大纵坡折减后若小于4%,则仍采用4%。

表 2-13 高原纵坡折减值

海拔高度/m	3 000~4 000	4 000~5 000	5 000 以上
纵坡折减/%	1	2	3

## 2. 坡长

坡长是指变坡点间的水平直线距离。坡长限制主要是指对较陡纵坡的最大长度和一般纵坡的最小长度加以限制。

### 1) 最大坡长

根据汽车的动力性能可知,公路纵坡的大小及其坡长对汽车的行驶影响很大,特别是长距离的陡坡对汽车行驶非常不利。当纵坡的坡段很长时,汽车因克服坡度阻力而采用低速挡行驶,会使发动机过热,水箱沸腾,导致汽车行驶无力甚至熄火停驶;而下坡时,则因坡度过陡,坡段过长频繁制动,造成制动器失灵甚至酿成车祸。因此对纵坡较大的坡段,其最大坡长必须加以限制。《公路路线设计规范》中规定的最大坡长见表2-14。

表 2-14 公路不同纵坡最大坡长

单位:m

纵坡坡度/%	设计速度/(km/h)						
	120	100	80	60	40	30	20
3	900	1 000	1 100	1 200	—	—	—
4	700	800	900	1 000	1 100	1 100	1 200
5	—	600	700	800	900	900	1 000
6	—	—	500	600	700	700	800
7	—	—	—	—	500	500	600
8	—	—	—	—	300	300	400
9	—	—	—	—	—	200	300
10	—	—	—	—	—	—	200

### 2) 最小坡长

最小坡长的限制是从汽车行驶的平顺性、乘车的舒适性、路容美观、相邻两竖曲线的设置和纵面视距等方面考虑的。公路设计应尽量减少纵坡转折以满足行车的平顺性。如果坡长过短,使变坡点增多,汽车行驶在连续起伏的路段上产生的增重与减重的变化频繁,导致乘客感觉不舒适,因此一般应保证汽车在坡道上的行驶时间为9~15 s。此外,坡度差较大还容易造成视觉的遮断,从而影响行车安全性。《公路路线设计规范》规定的最小坡长见表2-15。





表 2-15 公路最小坡长

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
最小坡长/m	300	250	200	150	120	100	60

### 3) 缓和坡段

在纵断面设计中,当陡坡的长度达到限制坡长时,应安排一段缓坡,用以恢复在陡坡上降低的速度,同时也可以减轻上坡时汽车的机件磨损,这一坡段称为缓和坡段。

从下坡安全考虑,缓坡可以降低下坡时制动器的过高温度,以保证行车安全。在缓坡上汽车将加速行驶,理论上缓坡的长度应适应这个加速过程的需要。

《公路路线设计规范》规定,公路连续上坡或下坡时,应在不大于表 2-14 规定的纵坡长度范围内设置缓和坡段。缓和坡段的纵坡应不大于 3%,其长度应符合表 2-15 最小坡长的规定。

### 3. 平均纵坡

由若干坡段组成的路段,其两端点的高差与路段长度之比称为平均纵坡,用符号  $i_p$  表示,即

$$i_p = \frac{H}{L} \times 100\% \quad (2-26)$$

式中,  $i_p$  为路段平均纵坡(%) ;  $H$  为路段两端点的高差(m);  $L$  为路段的长度(m)。

公路的纵断面设计,即使完全符合最大纵坡、坡长限制及缓和坡段的规定,也还不能保证使用质量。在山区公路的纵坡设计时,可能会不间断地交替使用标准规定的最大纵坡和缓和坡段,这似乎是合乎规定的,但会造成汽车上坡时因持续使用低速挡爬坡而导致车辆水箱“开锅”,下坡时因刹车片过热、失效而导致交通事故发生。为了避免这种情况的发生,《公路路线设计规范》规定:“二级公路、三级公路、四级公路越岭路线连续上坡(或下坡)路段,相对高差为 200~500 m 时平均纵坡不应大于 5.5%,相对高差大于 500 m 时平均纵坡不应大于 5%,且任意连续 3 km 路段的平均纵坡不应大于 5.5%。”

### 4. 合成坡度

合成坡度是指在设有超高的平曲线上,路线纵坡与超高横坡或不设超高的路面横坡所组成的坡度。计算公式为

$$I = \sqrt{i^2 + i_h^2} \quad (2-27)$$

式中,  $I$  为合成坡度;  $i$  为路线纵坡度;  $i_h$  为超高横坡度。

在有平曲线的坡道上,最大坡度在纵坡和超高坡度的合成方向上。若合成坡度过大,当车速较慢或停驶在合成坡度上时,汽车可能会沿合成坡度的方向侧滑或打滑;当遇到急弯陡坡时,行驶的汽车可能会在短时间向合成坡度方向下滑,严重时汽车可能会沿合成坡度冲出弯道而产生事故。因此合成坡度必须控制在一定范围之内,以尽可能地避免急弯和陡坡的不利组合,防止出现横向滑移的行车危险,保证车辆在弯道上安全而顺适地行驶。《公路路线设计规范》规定了各级公路的最大合成坡度值,参见表 2-16。



表 2-16 公路最大合成坡度

公路等级	高速公路			一级公路			二级公路		三级公路		四级公路
设计速度/(km/h)	120	100	80	100	80	60	80	60	40	30	20
合成坡度值/%	10.0	10.0	10.5	10.0	10.5	10.5	9.0	9.5	10.0	10.0	10.0

当陡坡与小半径圆曲线相重叠时,宜采用较小的合成坡度。特别是在冬季路面有积雪及结冰的地区、自然横坡较陡峻的傍山路段及非汽车交通量较大的路段,其合成坡度必须小于8%。为了保证路面排水,合成坡度的最小值不宜小于0.5%。

## 5. 爬坡车道

### 1) 爬坡车道的设置

爬坡车道是高速公路和一级公路在陡坡路段正线行车道外侧增设的供载重车行驶的专用车道。在公路纵坡较大的路段上,载重车爬坡时需克服较大的坡度阻力,车速下降,大型车与小汽车的速差变大,超车频率增加,这对行车安全不利。此外,速差较大的车辆混合行驶,必将减小快车的行驶自由度,导致通行能力降低。为了消除上述种种不利影响,宜在陡坡路段增设爬坡车道,把载重车从正线车流中分离出去,从而提高小汽车行驶的自由度,确保行车安全,增加路段的通过能力。

《公路路线设计规范》中规定,四车道高速公路、四车道一级公路以及二级公路连续上坡路段,符合下列情况之一者,宜在上坡方向行车道右侧设置爬坡车道。

(1)沿连续上坡方向载重汽车的运行速度降低到表 2-17 的容许最低速度以下时。

表 2-17 上坡方向容许最低速度

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40
容许最低速度/(km/h)	60	55	50	40	25

(2)上坡路段的设计通行能力小于设计小时交通量时。

(3)经设置爬坡车道与改善主线纵坡不设爬坡车道进行技术经济比较论证,设置爬坡车道的效益费用比、行车安全性较优时。

### 2) 爬坡车道的横断面

爬坡车道设置在正线上坡方向行车道的右侧,如图 2-15 所示。爬坡车道的行车道宽度为 3.5 m(包括设在其左侧 0.5 m 宽的路缘带),右侧硬路肩为 1.0 m。

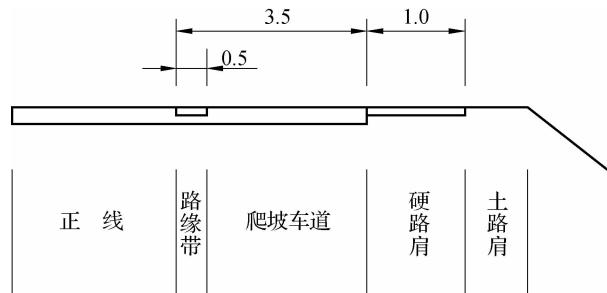


图 2-15 爬坡车道的横断面(尺寸单位:m)





高速公路、一级公路爬坡车道长度大于 500 m 时,应按规定在其右侧设置紧急停车带。

### 3) 爬坡车道的横坡度

(1) 爬坡车道位于直线段时,其横坡度的大小同正线路拱坡度,采用直线式横坡,坡向外。

(2) 爬坡车道位于平曲线路段时,因爬坡车道的行车速度比正线小,其超高横坡度与正线不同,见表 2-18。超高横坡的旋转轴为爬坡车道的内侧边缘线,坡向向内。

表 2-18 爬坡车道的超高值

主线的超高坡度/%	10	9	8	7	6	5	4	3	2
爬坡车道的超高坡度/%	5				4			3	2

### 4) 爬坡车道的起、终点与长度

(1) 爬坡车道的起点,应设于陡坡路段上载重汽车运行速度降低至表 2-17 中“容许最低速度”处。

(2) 爬坡车道的终点,应设于载重汽车爬经陡坡路段后恢复至“容许最低速度”处,或陡坡路段后延伸的附加长度的端部。该陡坡路段后延伸的附加长度规定见表 2-19。

表 2-19 陡坡路段后延伸的附加长度

附加路段的纵坡/%	下坡	平坡	上坡			
			0.5	1.0	1.5	2.0
附加长度/m	100	150	200	250	300	350

(3) 相邻两爬坡车道相距较近时,宜将两爬坡车道直接相连。

(4) 爬坡道起点、终点处应设置分流、汇流渐变段,其长度规定见表 2-20。

表 2-20 爬坡车道分流、汇流渐变段长度

公路等级	分流渐变段长度/m	汇流渐变段长度/m
高速公路、一级公路	100	150~200
二级公路	50	90

## 四、竖曲线

### 1. 竖曲线的基本概念

纵断面上两相邻纵坡线的交点为变坡点,为保证汽车安全、顺适及视距的需要而在变坡点处设置的纵向曲线称为竖曲线,如图 2-16 所示。

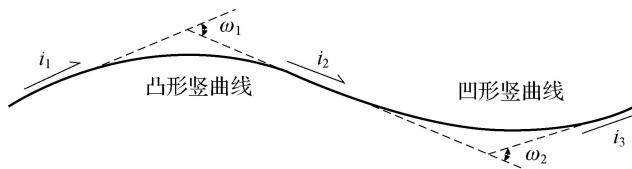


图 2-16 竖曲线

转坡点前后两坡度线坡度之差称为转坡角,用符号  $\omega$  表示,其值可按下式计算。



$$\omega = i_1 - i_2 \quad (2-28)$$

式中,  $\omega$  为转坡角的度数, 以弧度计;  $i_1$ 、 $i_2$  为转坡点前后坡线的纵坡, 以小数计, 上坡取“+”, 下坡取“-”。

按式(2-28)计算出来的结果,  $\omega$  为“+”时曲线开口朝下, 称为凸形竖曲线, 纵断面图上用“ $\text{凸}$ ”符号表示;  $\omega$  为“-”时曲线开口朝上, 称为凹形竖曲线, 用符号“ $\text{凹}$ ”表示。

竖曲线的主要作用有如下两方面。

(1) 起缓冲作用。以平缓的竖曲线取代折线可消除汽车在该处的颠簸, 提高乘客的舒适度。

(2) 确保公路纵向的路面视距。在凸形竖曲线处, 当纵坡坡差较大时, 若无竖曲线, 则盲区部位的路障便看不见, 如果设置了适当的竖曲线, 则视距将获得保证。

竖曲线的形式可采用抛物线或圆曲线, 在使用范围内两者几乎没有差别。《公路路线设计规范》规定, 各级公路在纵坡变坡点处均应设置竖曲线, 竖曲线宜采用圆曲线。由于在纵断面上只计水平距离和竖直高度, 斜线不计角度而计坡度, 因此, 竖曲线的切线长与曲线长是其在水平面上的投影。

## 2. 竖曲线的设计标准

### 1) 竖曲线的最小半径

凸形竖曲线半径的选定应能提供汽车所需要的视距, 以保证汽车能安全迅速地行驶。凹形竖曲线的设置主要是为缓和行车时汽车的颠簸和振动。汽车沿凹形竖曲线路段行驶时, 因受重力方向上的离心力作用, 会出现颠簸现象并增加弹簧负荷, 因此, 应对凹形竖曲线的最小半径加以控制以使离心力不致过大。

《公路路线设计规范》将竖曲线半径分为“极限值”和“一般值”。“极限值”是汽车在纵坡变更处行驶时, 为了缓和冲击和保证视距所需的最小半径的计算值, 该值在受地形等特殊情况约束时方可采用。“一般值”是“极限值”的 1.5~2.0 倍, 是在正常情况下采用的值。竖曲线的最小半径值参见表 2-21。

### 2) 竖曲线的最小长度

竖曲线长度太短, 汽车行驶时驾驶员会感到不适或视觉上存在问题, 如驾驶员会觉得纵断面上有一个很急促的曲折。《公路路线设计规范》中规定的竖曲线最小长度是按 3 s 设计速度行程长度而确定的, 见表 2-21。

表 2-21 竖曲线最小半径与竖曲线长度

设计速度/(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线最小半径/m	一般值	17 000	10 000	4 500	2 000	700	400	200
	极限值	11 000	6 500	3 000	1 400	450	250	100
凹形竖曲线最小半径/m	一般值	6 000	4 500	3 000	1 500	700	400	200
	极限值	4 000	3 000	2 000	1 000	450	250	100
竖曲线长度/m	一般值	250	210	170	120	90	60	50
	最小值	100	85	70	50	35	25	20



### 3. 坚曲线的设计

#### 1) 坚曲线设计的一般要求

(1) 宜选用较大的坚曲线半径,当条件许可时应尽量采用大于一般最小半径的值,只有在地形受到限制或其他特殊困难情况下,才采用极限最小半径。

(2) 同向坚曲线间,特别是同向凹形坚曲线之间,如果直坡段不长,应合并为单曲线或复曲线,以避免出现断背曲线。

(3) 反向坚曲线之间应尽量设置一段直坡段,直坡段的长度一般不小于以设计速度行驶3 s 的行程为宜,以使汽车的增重与减重之间有一过渡段,以利汽车行驶。当插入直线段有困难时,也可径相连接。

#### 2) 坚曲线半径的选择

(1) 所选半径应符合《公路工程技术标准》《公路路线设计规范》等的要求。

(2) 在不过分增加土石方工程量的情况下,为使行车舒适,应尽量采用较大的坚曲线半径。

(3) 根据坚曲线范围内的纵断面地面线的起伏情况和标高控制要求,确定合适的外距值,按外距控制选择半径。

(4) 确定坚曲线长度时,应考虑相邻坚曲线的连接或平、纵组合,然后按其切线长度选择半径。

(5) 夜间行车交通量较大的路段,应适当加大半径,以使汽车前灯有较长的照射距离。

(6) 过大的坚曲线半径将使坚曲线过长,对排水不利,选择半径时应注意。

### 4. 坚曲线的计算

#### 1) 坚曲线几何要素的计算

坚曲线几何要素主要包括坚曲线长度  $L$ 、切线长度  $T$  和外距  $E$ ,如图 2-17 所示。

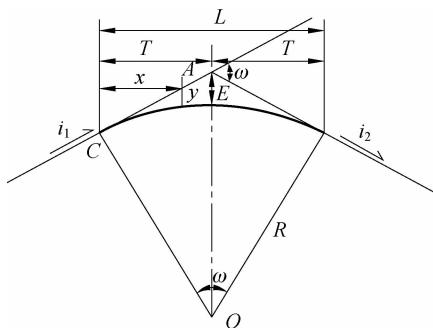


图 2-17 坚曲线要素

因纵坡很小,而高程变化值与水平距离之比相差很大,因而实际计算时,均假定坚曲线长度  $L$ 、切线长度  $T$  等于其水平投影长度。坚曲线通常采用圆曲线,各要素的计算公式为



$$\left. \begin{array}{l} L=R\omega \\ T=\frac{L}{2}=\frac{R\omega}{2} \\ E=\frac{1}{4}T\omega=\frac{T^2}{2R} \\ y=\frac{x^2}{2R} \end{array} \right\} \quad (2-29)$$

式中,  $R$  为竖曲线半径(m);  $L$  为竖曲线的曲线长(m);  $T$  为竖曲线的切线长(m);  $E$  为竖曲线的外距(m);  $\omega$  为两相邻纵坡的代数差, 以小数计, 在竖曲线要素计算时取其绝对值计;  $y$  为竖曲线上任意点到切线的纵距, 即竖曲线上任意点与坡线的高差(m), 亦称改正值;  $x$  为竖曲线上任意点与竖曲线起点或终点的水平距离(m)。

### 2) 竖曲线设计标高的计算

竖曲线设计标高应按如下步骤进行。

#### (1) 计算竖曲线起点和终点的桩号。

$$\begin{aligned} \text{竖曲线起点桩号} &= \text{变坡点桩号} - T \\ \text{竖曲线终点桩号} &= \text{变坡点桩号} + T \end{aligned} \quad (2-30)$$

#### (2) 计算横距与纵距。

$$\text{横距 } x = \text{任一点桩号} - \text{竖曲线起点桩号}$$

$$\text{纵距 } y = \frac{x^2}{2R} \quad (2-31)$$

#### (3) 计算竖曲线各点设计高程。

$$\begin{aligned} \text{凸形竖曲线设计标高} &= \text{切线标高} - y \\ \text{凹形竖曲线设计标高} &= \text{切线标高} + y \end{aligned} \quad (2-32)$$

### 3) 计算例题

某二级公路, 设计车速  $v=80$  km/h, 相邻两坡段纵坡为  $i_1=5\%$  和  $i_2=-4\%$ , 变坡点桩号为 K5+030.00, 该点的高程为 427.68 m, 竖曲线半径  $R=2000$  m。试计算竖曲线诸要素以及桩号为 K5+000.00 和 K5+100.00 处的设计高程。

解:(1)计算竖曲线要素。

$$\text{变坡角: } \omega = i_1 - i_2 = 0.05 - (-0.04) = 0.09$$

$\omega > 0$ , 故为凸形竖曲线。

$$\text{竖曲线长度: } L = R\omega = 2000 \times 0.09 = 180 \text{ m}$$

$$\text{切线长度: } T = \frac{L}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ m}$$

$$\text{外距: } E = \frac{T^2}{2R} = \frac{90^2}{2 \times 2000} = 2.03 \text{ m}$$

#### (2) 计算竖曲线起点和终点桩号。

$$\text{竖曲线起点桩号} = (\text{K5+030.00}) - 90 = \text{K4+940.00}$$

$$\text{竖曲线终点桩号} = (\text{K5+030.00}) + 90 = \text{K5+120.00}$$

#### (3) 计算设计高程。

①桩号 K5+000.00 处。它位于竖曲线内, 变坡点左侧, 则





至起点距离: $x_1 = (K5 + 000.00) - (K4 + 940.00) = 60 \text{ m}$

$$\text{纵距: } y_1 = \frac{x_1^2}{2R} = \frac{60^2}{2 \times 2000} = 0.90 \text{ m}$$

切线标高: $427.68 - 30 \times 0.05 = 426.18 \text{ m}$

设计高程: $426.18 - 0.90 = 425.28 \text{ m}$

②桩号 K5+100.00 处。它位于竖曲线内,变坡点右侧,则

至终点距离: $x_2 = (K5 + 120.00) - (K5 + 100.00) = 20 \text{ m}$

$$\text{纵距: } y_2 = \frac{x_2^2}{2R} = \frac{20^2}{2 \times 2000} = 0.10 \text{ m}$$

切线标高: $427.68 - 70 \times 0.04 = 424.88 \text{ m}$

设计高程: $424.88 - 0.10 = 424.78 \text{ m}$

## 五、纵断面线形设计

纵断面设计首先应进行的是纵断面线形布置,它包括不同地形条件下的设计标高控制、各坡段的纵坡设计及变坡点位置确定等。

### 1. 各种地形条件下的标高控制

所谓设计标高的控制,就是在纵坡设计时确定路线所在的最合适高度。设计标高控制应综合考虑地形条件、地质条件、水文气候条件、公路两侧建筑物情况以及公路修建情况等,一般可从以下几方面着手。

#### 1) 平原区

平原地区地形平坦、河沟纵横交错、地面水源多、地下水位较高,因此,路线设计标高主要由保证路基稳定的最小填土高度控制。

#### 2) 丘陵地区

丘陵地区地面有一定的高差,除局部地段外路线在纵断面上克服高差的难度不大,因此,设计标高主要应满足平衡土石方和降低工程造价的要求。

#### 3) 山岭地区

山岭地区地形变化频繁,地面自然坡度大,布线有一定的困难,因此,设计标高主要由纵坡度和坡长控制,但也要考虑土石方填挖平衡、路基防护工程经济性等因素,力求降低工程造价。

#### 4) 沿溪(河)路段

在沿溪(河)及可能受水浸淹的路段,为保证路基安全稳定,路基一般应高出设计洪水频率的计算水位加壅水高、波浪侵袭高和 0.5 m 安全高度。

此外,纵断面设计标高的控制,还应考虑公路的起终点、交叉口、垭口、隧道、桥梁、涵洞以及地质不良地段等方面的要求。这些地物和构造物对设计标高控制往往起着决定性的作用。

### 2. 各种地形条件下的纵坡设计

不同地形的纵坡设计应在初步拟定设计标高控制的基础上进行,以使所设计的纵坡合理。

(1) 平原微丘区。平原微丘地区的纵坡应均匀、平缓,满足路基最小填土高度和最小纵



坡的要求。

(2)丘陵区。丘陵地区的纵坡应顺适、不产生突变,避免过分迁就地形而起伏过大。

(3)山岭重丘区。山岭重丘区的沿河线应尽量采用平缓纵坡,坡长不宜过短,纵坡不宜过大;越岭线的纵坡应力求均匀,尽量不采用极限坡度,更不宜连续采用极限长度的陡坡之间夹短距离缓和坡段的纵坡线形,避免设置反坡浪费高程;山脊线和山腰线,除结合地形不得已时采用较大的纵坡外,在一般情况下应尽量采用平缓纵坡。

### 3. 变坡点位置的确定

变坡点是两条相邻设计纵坡线的交点,两变坡点之间的水平距离称为坡长。变坡点的位置直接影响着纵坡的大小、坡长、平纵组合、土石方填挖平衡以及公路的使用质量,因此,在确定变坡点位置时,除了尽量满足填挖工程量最小和线形最理想外,还应使最大纵坡、最小纵坡、坡长限制、缓和坡段满足有关规定的要求,同时还要处理好平、纵断面线形的相互配合。此外,为方便设计和计算,变坡点的位置一般应设在整 10 m 桩号处。

### 4. 设计方法与步骤及应注意的问题

公路纵坡设计是通过定线和室内设计两个阶段来实现的。在定线阶段,选线人员已经在现场或纸上结合平面线形、地形等对公路纵坡作了全面的考虑,即纵断面设计是由选线人员在室内根据选线时的记录,综合考虑工程技术、经济以及桥涵、地质等方面对路线的要求等因素,确定出路线的纵坡。

#### 1) 纵断面设计的方法与步骤

(1)准备工作。在纵断面图上点绘地面线,填写里程、地面高程、直线与平曲线,收集和研究地形、地质、水文、筑路材料的各项记录、图表等野外资料,熟悉领会设计意图和各项具体要求。

(2)标注控制点。控制点是指影响纵坡设计的高程控制点,如路线的起终点、垭口、桥涵、地质不良地段、最小填土高度、最大挖方深度、洪水位、隧道进出口、交叉点、城镇规划控制标高、经济点(横断面上填挖大致平衡的标高点)等。

(3)试坡。在已标出控制点与经济点的纵断面上,根据定线意图,结合地面起伏情况在控制点与经济点之间穿线,试定出纵坡。试定纵坡时,每定一个变坡点,都要全面考虑前后几个变坡点的情况,必要时试定的纵坡还应给调坡留有余地。一般来说,如果试定的纵坡既能符合技术标准,又能满足控制点要求,而且能节省土石方工程量,则该设计纵坡是最理想的。

(4)调整纵坡。试定纵坡后,应检查纵坡度、坡长、合成坡度等是否符合规范规定,平、纵面组合是否合理,若不符合规定则进行调整。调整纵坡的方法一般有抬高、降低、延长、缩短坡度线和加大、减小纵坡度等。调整的原则是尽量少脱离控制点,减少填挖量,并与自然条件相协调。

(5)核对。根据已调整的纵坡线,选择有控制意义的重点横断面,如高填深挖、挡土墙、重要桥涵等横断面,在纵断面上直接估读出填挖高度,对照相应的横断面图进行认真的核对和检查。若出现填挖过大、坡脚落空或过远、桥梁过高、涵洞过长、挡土墙工程量过大等情况,应再次调整纵坡线,直到满足要求。

(6)定坡。经调整核对无误后,即可从起点开始,逐段确定纵坡的坡度、坡长及变坡点。





公路的起终点设计标高是根据接线的需要事先确定的。变坡点设计标高是由坡度和坡长计算确定的。

(7)设置竖曲线。根据设计纵坡(俗称“拉坡”)时已初步考虑的平、纵组合线形情况,按照技术标准、平纵组合均衡等确定竖曲线半径,计算竖曲线要素。

### 2) 纵坡设计应注意的问题

(1)在回头曲线地段设计纵坡时,应先确定回头曲线上的纵坡,然后从两端接坡,以满足回头曲线处的纵坡要求。在回头曲线地段不宜设竖曲线。

(2)大、中桥上不宜设竖曲线。桥头两端竖曲线的起、终点应设在桥头 10 m 以外,如图 2-18 所示。

(3)小桥涵允许设在斜坡地段和竖曲线上。但对等级较高的公路,为使公路纵坡具有一定 的平顺性,应尽量避免小桥涵处出现“驼峰式”纵坡,如图 2-19 所示。

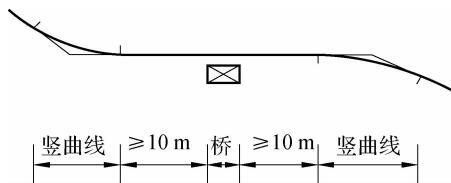


图 2-18 大、中桥纵坡处理



图 2-19 小桥涵纵坡处理

(4)注意平面交叉口纵坡及两端接线要求。平面交叉口一般宜设在水平坡段处,其长度应不小于最小坡长规定:两端接线纵坡应不大于 3%,山区工程艰巨地段不大于 5%。

## 六、平面线形与纵断面线形的组合

公路线形设计的顺序一般是从选线开始,首先确定平面线形,然后确定纵断面线形,最后进行平、纵线形的协调设计。虽然协调一般是在最后进行的,但只在最后阶段进行是不够的,应从一开始就综合考虑。因此,平、纵线形的组合就是把平、纵线形合理地组合起来,使之成为连续、圆滑、顺适、美观的空间曲线,以达到行车安全、快速、舒适、经济的要求。

### 1. 视觉分析

#### 1) 视觉分析的概念

公路设计除应考虑自然条件、汽车行驶的力学要求外,还要把驾驶人员在心理和视觉上的反应作为重要因素来考虑。汽车在公路上快速行驶时,驾驶员是通过视觉、运动感觉和时间变化感觉来判断线形的。公路的线形,周围的景观、标志,以及其他有关信息,几乎都是通过驾驶员的视觉而被感受到的,因此,视觉是连接公路与汽车的重要媒介。

视觉分析就是从视觉心理出发,对公路的空间线形及其与周围自然景观和沿线建筑的协调等进行研究分析,以保持视觉的连续性,使行车具有足够的舒适感和安全感的综合设计。

#### 2) 视觉分析方法

线形状况是指公路平面和纵断面线形所组成的立体形状,在汽车快速行驶中给驾驶员提供的连续不断的视觉印象。评价视觉印象的好坏,除依靠设计者对三维空间的想象外,其他比较好的方法是利用视觉印象随时间变化的公路透视图。该图是按照汽车在公路上的行



驶位置,由线形的几何状况确定视轴方向,由车速确定视轴长度,利用坐标透视的原理进行绘制。公路透视图具有很好的立体感,最能符合人的视觉印象,有见图如见实体公路之感。根据公路的平面线形、纵断面线形及公路横断面设计资料,可以绘制出驾驶员在不同桩号处注视前方时映射于眼中的公路的透视图。通过透视图可直观地看出立体线形是否顺适,是否有容易产生判断错误或茫然的地方,路旁障碍是否妨碍视线等。若存在上述缺陷则要在设计阶段进行修改,然后再绘出透视图加以分析研究,直至满意为止。

公路透视图按画图的范围来分,可分为两类:一类是只绘出公路线形透视图,这种透视图可利用计算机很方便地绘出;另一类不仅要绘出公路的中线与路基、路面边线,还要绘出公路两侧的景物,故称为公路全景透视图。全景透视图不仅能反映出公路线形的优劣,而且可以了解公路与其周围的景观配合是否合适。公路全景透视图的绘制也可以利用计算机来进行动态全景透视图仿真。

## 2. 平、纵线形组合原则

- (1) 应在视觉上能自然地诱导驾驶员的视线,并保持视觉的连续性。
- (2) 平面与纵断面线形的技术指标应大小均衡,避免出现平面高标准、纵断面低标准,或与此相反的情况,使线形在视觉上、心理上保持协调。
- (3) 选择组合得当的合成坡度,以利于路面排水和行车安全。
- (4) 平、纵线形组合应注意与周围环境相配合,充分利用公路周围的地貌、地形、自然景物、建筑物等消除单调感,以减轻驾驶员的疲劳和紧张程度,并发挥引导视线的作用。

## 3. 平、纵线形组合要点

平面线形要素分为直线和曲线,纵断面线形要素分为直线、凹形竖曲线与凸形竖曲线,它们可组合为表 2-22 中的六种图形。

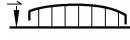
表 2-22 平、纵线形组合

平面要素	纵断面要素	立体线形要素	编 号
直线	直线	 具有恒等坡度的直线	A
直线	曲线	 凹形直线	B
直线	曲线	 凸形直线	C
曲线	直线	 具有恒等坡度的曲线	D





续表

平面要素	纵断面要素	立体线形要素	编 号
 曲线	 曲线	 凹形曲线	E
 曲线	 曲线	 凸形曲线	F

### 1) 空间线形要素 A

从视觉分析来看,该线形单调、枯燥,如果在行车过程中视景无变化,容易产生驾驶疲劳和超车频繁等现象。为调节单调的感觉,增进视线诱导,设计时可用行车道线、标志、绿化与路旁建筑设施、景点配合等方法来弥补。

### 2) 空间线形要素 B

这种组合具有较好的视距条件。由于纵断面上插入了凹形竖曲线,不仅改善了相对 A 要素生硬、呆板的印象,而且给予驾驶员动的视觉印象,提高了行车舒适性。B 要素在运用时,不要采用较短的凹形竖曲线,以避免在视觉上产生折点;在两个凹形竖曲线间注意不要插入短直线,以避免视觉上形成“虚假凸形竖曲线”的感觉;长直线的末端不宜设置小半径凹形竖曲线。

### 3) 空间线形要素 C

这种组合线形的视距条件差,线形也较单调。组合时注意采用较大的竖曲线半径,以保证有较好的视距。B 和 C 连续组合时易形成“驼峰”“暗凹”等不良视觉现象,因此这种不良的组合在设计时要注意避免。

### 4) 空间线形要素 D

对于平曲线与直坡段的组合线形,一般来说只要平曲线半径选择适当,平面的直线与圆曲线组合恰当,其透视效果应是良好的。汽车行驶在这种路段上,可获得较好的路旁景观,且景观逐步变化,使驾驶员感觉新鲜,方向盘操作舒适。组合时,注意平曲线与平面直线的配合,以及平曲线半径与纵坡度的协调,从而满足合成坡度的要求。同时,要避免急弯与陡坡相重合。

### 5) 空间线形要素 E、F

这两种组合线形是比较常见和复杂的组合形式。如果平、纵断面几何要素的大小适当、均衡协调、位置适宜,则可获得视觉舒顺、诱导良好的空间线形;相反,则会出现一些不良的组合情况。组合时应注意下列情况。

(1) 平曲线与竖曲线重合时,应采用“平包竖”的形式。竖曲线的起、终点最好分别放在平曲线的两个缓和曲线内,其中任一点都不要放在缓和曲线以外的直线上,也不要放在圆弧段之内,如图 2-20 所示。这样不单可以诱导驾驶员视线,而且可以取得平顺而优美的效果,有利于行车安全。平、纵线形组合宜相互对应:当平、竖曲线半径均较小时,其相对应程度应较严格;随着平、竖曲线半径的同时增大,其对应程度可适当放宽;当平、竖曲线半径均大



时,可不严格相互对应。

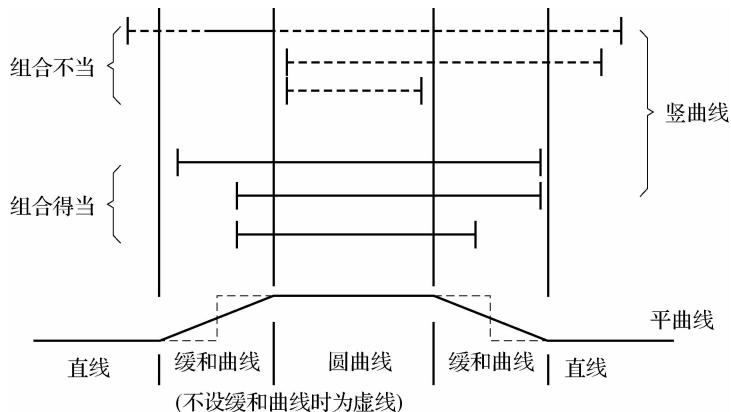


图 2-20 平曲线与竖曲线的组合

(2) 平曲线与竖曲线的顶点对应关系,最理想的是顶点重合。当平曲线与竖曲线的顶点错开不超过四分之一时,还可以得到较理想的线形,当超过  $1/4$  时,就会出现配合很差的线形。

(3) 平曲线和竖曲线半径大小应保持均衡。注意保持平、纵线形的协调均衡,可使线形顺滑优美,视觉上获得满足,且行车安全舒适。组合时,平、竖曲线半径之比以  $1:(10\sim 20)$  为宜,这样可以获得视觉良好的效果。不要把过缓与过急、过长与过短的平、竖曲线组合在一起。平曲线半径大时,竖曲线半径也要相应的大;平曲线长时,竖曲线也须相应的长,这样就可以达到两者均衡。

表 2-23 平、竖曲线半径的协调关系

平曲线半径/m	500	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 500	2 000
竖曲线半径/m	10 000	12 000	16 000	20 000	25 000	30 000	40 000	60 000	100 000

(4) 选择适宜的合成坡度。有条件时,一般最大合成坡度不大于  $8\%$ ,最小合成坡度不小于  $0.5\%$ 。应避免急弯与陡坡相重合的线形。平曲线与竖曲线组合时,还应避免以下不良情况。

- ① 长直线不宜与陡坡或半径小且长度短的竖曲线组合。
- ② 长的平曲线内不宜包含多个短的竖曲线,短的平曲线不宜与短的竖曲线组合。
- ③ 长的竖曲线内不宜设置半径小的平曲线。
- ④ 凸形竖曲线的顶部或凹形竖曲线的底部,不宜同反向平曲线的拐点重合。

## 七、公路纵断面设计成果

路线纵断面图是公路设计的重要文件之一,它反映路线所经的中心地面起伏情况与设计标高之间的关系。把它与平面图结合起来就能反映公路路线在空间中的位置。

### 1. 纵断面图表示方法

路线纵断面图是用通过公路中心线的假想铅垂面进行剖切展平后获得的,如图 2-21 所示。由于公路中线是由直线和曲线组成,因此剖切的铅垂面既有平面又有曲面。为了能清





清楚地表达路线纵断面情况,特采用展开的方法将断面展平成一平面,然后进行投影,形成了路线纵断面图。

纵断面图采用直角坐标,以横坐标表示里程桩号,纵坐标表示高程,为了清楚地反映公路中心线上地面起伏情况,通常横坐标的比例采用1:2 000,纵坐标采用1:200。

纵断面图由上下两部分内容组成。图的上半部主要是用来绘制地面线和纵坡设计线,同时根据需要标注竖曲线位置及其要素,沿线桥涵及人工构造物的位置、结构类型、孔径与孔数,与公路、铁路交叉的桩号及路名,沿线跨越河流名称、桩号、现有水位及最高洪水位,水准点位置、编号和高程,断链桩位置、桩号及长短链关系等。图的下半部主要是用来填写有关数据,自下而上分别填写直线与平曲线、里程桩号、地面标高、设计标高、坡度坡长、土壤地质说明等。

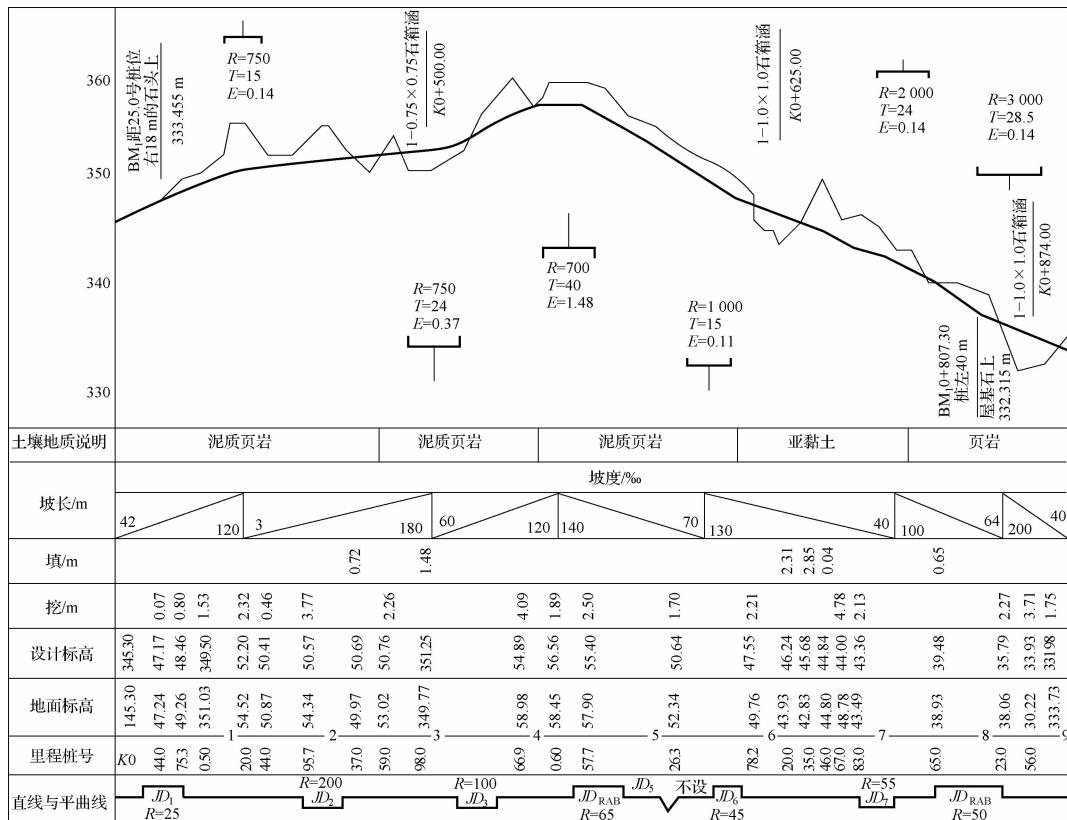


图 2-21 公路纵断面图示例

## 2. 纵断面图组成

路线纵断面图的内容包括图样、测设数据表和高程标尺3个部分。其中,图样应布置在图幅上部,测设数据应采用表格的形式布置在图幅的下部,高程标尺应布置在测设数据表的上方左侧。

### 1) 图样

在纵断面图上,有两条主要线条:一条是地面线(又称黑线),另一条是设计线。地面线是通过公路中线原地面各点的连线,它是一条不规则的空间折线,基本上反映了路中线地面



高低变化的概况。

(1)由于路线纵断面图是用剖切展开方法获得的断面图,因此它的长度就表示了路线的长度。在图样中水平方向表示长度,垂直方向表示高程。

(2)由于路线和地面的高差比路线的长度小得多,为了在路线纵断面图上清晰地显示出高差的变化和设计的处理,竖向比横向宜采用更大的比例(一般扩大10倍)。

(3)图样中不规则的细折线表示设计中心线处的纵向地面线,它是由一系列中心桩的地面高程连接而成的。

(4)图样中的粗实线为公路中线的纵向设计线型,由若干条坡度不等的直线段和半径不同的竖向曲线构成。

在设计线纵坡变化处(变坡点)均应按规定设置竖曲线,以利汽车行驶。竖曲线分为凸形和凹形两种,分别用符号 $\text{+}$ 和 $\text{-}$ 表示,并在其上标注竖曲线的半径R、切线长T和外距E等诸要素。符号中的水平直线的起止点表示竖曲线的起点和终点,直线段的中点为竖曲线中点,过中点画一条铅垂线,铅垂线两侧的数字分别为竖曲线中点的高程和里程桩号。

(5)比较设计线与地面线的相对位置,可了解填、挖地段。

(6)当路线上设有桥涵、通道和立体交叉等人工构造物时,用图例绘制各结构物并注明其名称、种类、大小和中心里程桩号。

## 2)测设数据表

测设数据表一般包括“土壤地质说明”“坡度/坡长”“填高”“挖深”“设计标高”“地面标高”“直线与平曲线”等内容,表中各项可根据不同设计阶段和不同公路等级的要求增减。

(1)坡度/坡长。设计线上的一个直线段称为一个坡度段。每个坡度段的长度是该段的终止桩号与起始桩号的差值。

(2)标高。地面线上各点的标高称为地面标高;设计线上各点的标高称为设计标高。同一桩点的设计标高与地面标高的差值称为施工高度,又称填挖高度。若该桩点的施工高度为“+”,即设计标高大于地面标高,这样的路段即为填方路段;若施工高度为“-”,则为路堑,这样的路段为挖方路段。

(3)直线与平曲线。在路线设计中竖曲线与平曲线的配合关系,直接影响着汽车行驶的安全性和舒适性以及公路的排水状况,故《公路路线设计规范》对路线的平纵配合提出了严格的要求。由于路线平面图和纵断面图一般是分别表示的,所以在纵断面图的测设数据表中应以简要的形式表示出平纵配合关系。

在“直线与平曲线”一栏中,以“—”表示直线段;以 $/\backslash$ 和 $\diagup\diagdown$ 或 $\square$ 和 $\square$ 表示曲线段,其中前两种表示设置缓和曲线的情况,后两种表示不设置缓和曲线的情况。图样的凹凸表示曲线的转向,上凸表示右转曲线,下凹表示左转曲线。这样,结合纵断面情况即可想象出该路线的空间情况。

## 3. 读图要点

读图可按下列顺序进行。

- (1)看清水平、竖直方向采用的比例与水准点位置。
- (2)看地面线,了解沿路线纵向的地势起伏情况及土质分布情况。
- (3)看设计线,了解路线沿纵向的分布情况(包括坡度和坡长)。
- (4)比较设计线与地面线,了解路线填、挖情况。





- (5)看清竖曲线的设置位置及竖曲线要素。
- (6)了解沿路线纵向其他工程构造物的分布情况及其主要内容。
- (7)了解竖曲线与平曲线的配合关系。

**注意:**在读图过程中,应紧密结合测设数据表与图样部分把纵断面图中体现出来的内容一一读懂、读透。

## 课题三 公路横断面

公路的横断面是指中线上各点的法向切面,它是由横断面设计线和地面线构成的。其中横断面设计线包括行车道、路肩、分隔带、边坡、边沟、截水沟、护坡道以及取土坑、弃土堆、环境保护设施等。高速公路和一级公路上还有变速车道、爬坡车道等。横断面中的地面线表征地面起伏变化,它是通过现场实测或由大比例尺地形图、航测相片、数字地面模型等途径获得的。

横断面设计时,应结合公路等级、交通量、通行能力以及公路沿线的地形、地质情况,综合考虑公路平面和纵断面的各个因素,使构成断面的各要素之间相互协调,以达到组成合理、用地节省、工程经济和有利于环境保护的目的。

### 一、公路横断面的组成

#### 1. 公路标准横断面的组成

##### 1) 公路横断面的一般组成部分

公路的标准横断面组成如图 2-22 所示,主要包括以下部分。

(1) 行车道:公路上供各种车辆行驶部分的总称,包括快车行车间道和慢车行车间道。

(2) 路肩:位于行车间道边缘至路基边缘,是具有一定宽度的带状结构。

(3) 中间带:高速公路及一级公路用于分隔对向车辆的路幅组成部分,通常设于车道中间。

(4) 边坡:为保证路基稳定,在路基两侧做成的具有一定坡度的坡面。

(5) 边沟:为汇集和排除路面、路肩及边坡的流水,在路基两侧设置的纵向水沟。

##### 2) 公路横断面的特殊组成部分

公路的特殊组成部分仅在公路特殊路段才设置,常见的有以下几类。

(1) 爬坡车道:高速公路、一级公路以及二级公路的连续上坡路段,当通行能力、运行安全受到影响时,设置的供慢速上坡车辆行驶用的车道。

(2) 加减速车道(变速车道):供车辆驶入(离)高速车流之前(后)加速(减速)用的车道,设置在高速公路、一级公路的互通式立体交叉服务区、停车区、公共汽车停靠站、管理与养护设施等的出入口处。

(3) 错车道:当四级公路采用 4.5 m 单车道路基时,在一定可通视距离内,设置的供车辆交错避让用的一段加宽车道。设置错车道路段的路基宽度应不小于 6.5 m,有效长度应不小于 20 m。

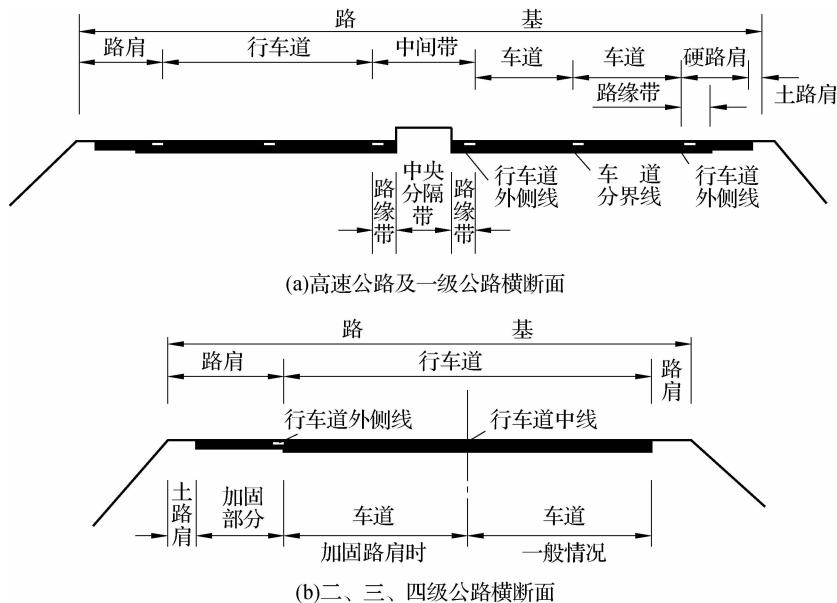


图 2-22 公路标准横断面组成

(4) 紧急停车带:供车辆临时发生故障或因其他紧急原因停车使用的临时停车地带。高速、一级公路的右侧硬路肩宽度小于 2.5 m 时,应设置紧急停车带。

(5) 避险车道:设置于连续长、陡下坡路段右侧弯道,以避免车辆因在行驶中速度失控而造成事故的路段,是在特殊路段设置的安全车道。

(6) 护坡道:当路堤较高时,为保证边坡稳定,在取土坑和坡脚之间,沿原地面纵向保留的有一定宽度的平台。

(7) 碎落台:设在路堑边坡坡脚与边沟外侧边缘之间或边坡上,为防止碎落物落入边沟而设置的有一定宽度的纵向平台。

(8) 截水沟:为拦截山坡上流向路基的水,在路堑坡顶以外设置的水沟。

## 2. 路幅的构成形式

路幅是指公路路基顶面两路肩外侧边缘之间的部分。路幅有两种布置方式,一种有分隔,一种无分隔。等级高、交通量大的公路(如高速公路、一级公路)通常用第一种方式将上、下行车辆分开。有分隔的方式可分为两种:一种是用分隔带分隔,称为整体式断面;另一种是将上、下行车道放在不同的平面上加以分隔,称为分离式断面。路幅布置形式如下。

### 1) 单幅双车道

单幅双车道公路指的是整体式的供双向行车的双车道公路。这类公路在我国公路总里程中占的比重最大,二、三级公路和一部分四级公路都属于这一种。单幅双车道公路在交通量不大时,车速一般都不会受到影响,但其最大缺点是混合交通造成的交通干扰。

### 2) 双幅多车道

四车道、六车道以及更多车道的公路,中间一般都设置分隔带或做成分离式路基以构成“双幅路”。有些分离式路基为了利用地形,或由于处于风景区等原因,甚至做成两条独立的单向行车的公路。双幅多车道公路的设计车速高、通行能力大,每条车道能负担的交通量比一条双车道公路的还多,而且行车顺适、事故率低。《公路工程技术标准》中的高速公路和一





级公路均属于此种类型。

### 3) 单车道

交通量小、地形复杂、工程艰巨的山区公路或地方性公路可采用单车道。《公路工程技术标准》中的路基宽度为4.50 m、路面宽度为3.50 m的山区四级公路就属此类。单车道公路虽然交通量很小,但仍然会出现错车和超车情况,因此,应在不大于300 m的距离内选择有利地点设置错车道。

## 二、路拱

### 1. 路拱横坡度

为了迅速排除落在路面上的雨水,防止雨水渗入路基而降低路基强度,以及减少轮胎与路面之间的摩阻力,路面通常做成中间高并向两侧倾斜的拱形,称为路拱。路拱倾斜的大小以百分率表示。

路拱对排水有利但对行车不利,路拱坡度所产生的水平分力增加了行车的不平稳,降低了乘车的舒适度;当车辆在有水或潮湿的路面上制动时,还会增加侧向滑移的危险。因此,路拱横坡度的选择应充分考虑行车平稳和横向排水两方面的要求,根据路面类型、表面平整度、当地气候(降雨量)与公路纵坡大小等而定。在确定横坡时具体应考虑以下因素。

#### 1) 横向排水

横向排水与路面结构类型和气候条件有关。行车道的面层粗糙,雨(雪)水在路面流动缓慢,路拱横坡就要做得大一些。路拱横坡度可根据路面种类和当地自然条件按表2-24中的数值采用。在一般情况下,在干旱和有积雪、浮冰地区应采用低值,多雨地区采用高值。

表 2-24 路拱横坡度

路面类型	路拱横坡度%	路面类型	路拱横坡度%
水泥混凝土路面	1.0~2.0	其他黑色路面、整齐石块	1.5~2.5
沥青混凝土路面	1.0~2.0	碎、砾石等粒料路面	2.5~3.5
半整齐、不整齐石块	2.0~3.0	低级路面	3.0~4.0

#### 2) 公路纵坡

当确定路拱横坡时,要考虑公路纵坡的大小,以控制合成坡度。如果公路纵坡较大,则路拱横坡度宜用小值;反之,路拱横坡度可大些。

#### 3) 行车道宽度

行车道宽,则路拱横坡度应选择得平缓一些,否则路拱各点间的高度太大,会影响行车和公路横断面的视觉效果。所以,在设计中应算出路拱各点间的高度和横坡,从而检查是否都满足排水、行车和美观的要求。

#### 4) 交通情况

在交通量大、车速高的公路上,设计横坡度宜采用较大值,以利于排水,防止雨水因车速高而形成雾状影响驾驶员视线,并避免路面雨水形成薄膜使汽车滑移。

高速公路和一级公路设有中央分隔带,通常采用两种方式布置路拱横断面。若分隔带未设置排水设施,则做成中间高两侧低的单个路拱,由单向横坡向路肩方向排水;若分隔带



设置有排水设施，则两侧路面分别单独做成中间高两边低的路拱，向中间排水设施和路肩两个方向排水。

路肩横坡度一般较路面横坡度大。土路肩的排水性远低于路面，其横坡度较路面宜增大 $1.0\% \sim 2.0\%$ 。当高速公路和一级公路的硬路肩采用与路面行车道相同的结构时，应采用与路面行车道相同的路面横坡度。

## 2. 路拱的形式

路拱的形式多样，有抛物线形、直线接抛物线形和折线形等。在设计道路横断面时，可根据车行道宽度、横坡度、路面结构类型、排水和交通等要求来选择路拱的形式。

### 1) 抛物线形路拱

抛物线形路拱的特点是造型美观、横坡圆顺，没有路中尖顶，路面中心部分坡度较小，两旁坡度较大，有利于排除雨水，适用于机动车、非机动车混合行驶的单幅城市道路。其缺点是行车道中心部分的横坡度过于平缓，行车的易集中于道路中央，导致中心部分的路面损坏较快。为克服这一缺点，实践中采用各种不同方次的抛物线形路拱。

(1) 二次抛物线路拱。二次抛物线路拱计算公式为

$$y = \frac{4h}{B^2}x^2 \quad (2-33)$$

其中

$$B' = \frac{B}{10}, h = \frac{B}{2}i$$

式中， $x$  为离行车道中心线的横向距离(m)； $y$  为相应于  $x$  各点的竖向距离(m)； $B$  为行车道总宽度(m)； $h$  为车行公路拱高度(m)； $i$  为行车道的平均横坡度； $B'$  为  $B$  的 10 等分。

常见的抛物线形路拱形式如图 2-23 所示。由图可以看出：在行车道中心线附近的横坡度  $i_1$  过于平缓不利排水，在路旁的横坡度  $i_5$  又偏大而不利行车。

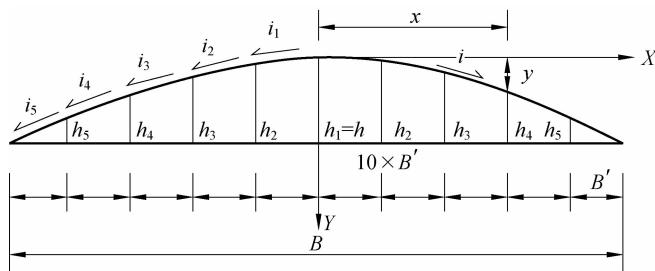


图 2-23 抛物线形路拱

(2) 改进的二次抛物线路拱。改进的二次抛物线路拱的计算公式为

$$y = \frac{2h}{B^2}x^2 + \frac{h}{B}x \quad (2-34)$$

改进的二次抛物线路拱，其横坡的变化较均匀，路中与路边的横坡也较适中，有利于排水和行车，因此常用于城市道路机动车和非机动车混合行驶的单幅路。

(3) 半立方次(一次半)抛物线路拱。半立方次抛物线路拱的计算公式为

$$y = h \left( \frac{2x}{B} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2-35)$$



半立方次抛物线路拱的图形与改进的二次抛物线路拱相似,仅在路中的横坡稍缓些。这种路拱形式适用于路面宽度在 20 m 以下的沥青混凝土、沥青碎石路面。

(4) 改进的三次抛物线路拱。改进的三次抛物线路拱的计算公式为

$$y = \frac{4h}{B^3}x^3 + \frac{h}{B}x \quad (2-36)$$

改进的三次抛物线路拱,符合排水迅速的要求,改善了路中心部分横坡度过于平缓的缺点。在横坡度小于 3% 的条件下,此种形式的路拱能够保证行车的安全,因而适用于多种道路。

### 2) 直接抛物线形路拱

简单的直线形路拱是由两条倾斜的直线组成,由于这种路拱中部成屋脊形,不利于行车,因此仅适用于路拱横坡度小的水泥路面、有中央分隔带的路面以及宽度较小的低等级公路。

直线形路拱两旁是直线,在路拱中心线附近加设抛物线。它的优点是汽车轮胎与路面的接触较平均,路面磨耗较小;其缺点是排水效果不及抛物线形流畅。

为更好地改善车行道中部的行车条件,便于施工,通常在两直线路拱中插入抛物线,如图 2-24 所示。这种形式常用于路面宽度超过 20 m 的柔性路面。

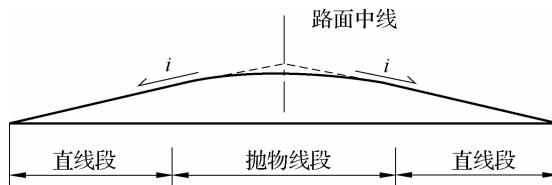


图 2-24 直接抛物线形路拱

### 3) 折线形路拱

折线形路拱是指行车道横坡由若干段短折线组成,每一折线段的横坡度由路中心向侧面逐渐增大,如图 2-25 所示。折线形路拱的优点是直线段较短,施工时容易摊压平顺,也可按行车道宽度来选择转折点,较符合设计、施工和养护的要求;缺点是在转折点处有尖峰凸出,不利于行车。这种形式的路拱适用于多车道水泥混凝土路面。

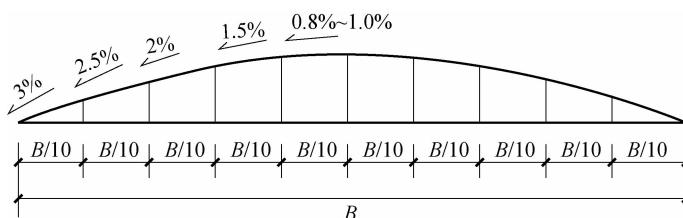


图 2-25 折线形路拱

## 三、曲线上的超高

### 1. 超高及超高值

为抵消车辆在曲线路段上行驶时所产生的离心力,将路面做成外侧高内侧低的单向横坡形式,称为曲线上的超高。

当圆曲线半径小于不设超高的最小半径时,汽车在圆曲线上行驶时受到的横向力可能



使汽车产生滑移或倾覆。为了使汽车能安全、稳定、经济、舒适地以设计速度通过圆曲线,必须设置超高。超高的作用是为了让汽车在圆曲线上行驶时能获得一个向圆曲线内侧的横向分力,以克服离心力,减小横向力。

由于从圆曲线起点到圆曲线终点的半径是不变的,因此在车速一定的情况下,汽车的离心力也是不变的,故从圆曲线的起点到圆曲线的终点,超高横坡也是一个不变的定值,这个圆曲线上的超高值,称为圆曲线的全超高横坡度。

由式(2-1)可得

$$i_b = \frac{V^2}{127R} - \mu \quad (2-37)$$

式中, $i_b$  为圆曲线的全超高横向坡度; $R$  为圆曲线半径(m); $V$  为行车速度(km/h); $\mu$  为横向力系数,即单位车重所承受的实际横向力,极限值为路面与轮胎之间的横向摩阻系数。

从式(2-37)可知,当横向力系数为定值时,超高横坡度的大小随半径的增大而减小。因此,当平曲线半径小时,超高横坡度就应大些,反之超高横坡度就可小些。当平曲线半径大于或等于不设超高最小半径时,可以不设超高。在路面有积雪或结冰的地区,超高横坡度应比一般地区小一些,以防止出现汽车向内侧滑动的危险。当超高横坡度的计算值小于路拱坡度时,应设置等于路拱坡度的超高值,即公路圆曲线部分的最小超高值。

各级公路圆曲线部分最大超高值规定见表 2-25。

表 2-25 各级公路圆曲线最大超高值

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路、三级公路、四级公路
一般地区/%	8 或 10	8
积雪冰冻地区/%		6

注:高速公路、一级公路正常情况下采用 8%;交通组成中小客车比例高时可采用 10%。

## 2. 超高的过渡

### 1) 超高缓和段

公路在直线路段上是双向横坡断面,而在设置超高的圆曲线路段上则是向内侧倾斜的单向横坡,这就需要采用适当的措施,使公路从直线路段的正常路拱逐渐变化成圆曲线路段的超高横坡,也就是要有一个逐渐变化的区段。该区段称为超高缓和段。

### 2) 超高过渡方式

超高的设置方式应从有利于路面排水、路面同地面构造物的协调,以及路容美观等角度出发,根据地形情况、车道数、中间带宽度、超高横坡度大小等因素进行选择。按所选用的旋转轴在公路横断面中的位置,超高过渡方式可分为如下几种情况。

#### (1) 无中间带的公路。

①绕内边缘旋转。先将外侧车道绕路中线旋转,待与内侧车道构成单向横坡后,整个断面再绕未加宽前的内侧车道边缘旋转,直至超高横坡值,如图 2-26(a)所示。这种方式一般适用于新建公路及以路肩边缘为设计标高的改建公路。

②绕中线旋转。先将外侧车道绕中线旋转,待与内侧车道构成单向横坡后,整个断面一同绕中线旋转,直至超高横坡值,如图 2-26(b)所示。这种方式一般适用于改建公路,尤其是





以路中心标高作为设计标高的情况。

③绕外边缘旋转。先将外侧车道绕外边缘旋转,与此同时,内侧车道随中线的降低而相应降低,待达到单向横坡后,整个断面仍绕外侧车道边缘旋转,直至超高横坡值,如图 2-26(c)所示。当路基外缘标高受限制或路容美观有特殊要求时,可采用此种方式。

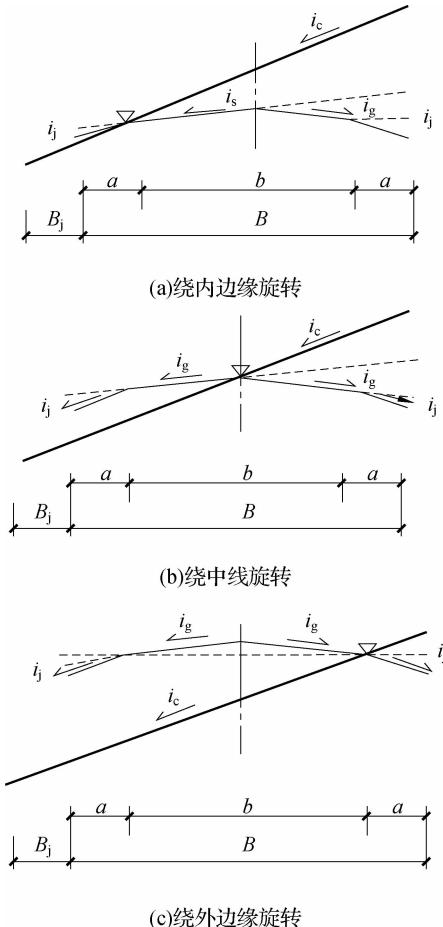


图 2-26 无中间带公路超高的过渡方式

## (2) 有中间带的公路。

①绕中间带的中心线旋转。先将外侧行车道绕中间带的中心线旋转,待与内侧行车道构成单向横坡后,整个断面一同绕中心线旋转,直至超高横坡值。此时中央分隔带呈倾斜状,如图 2-27(a)所示。这种超高方式适用于中间带窄的公路。

②绕中央分隔带边缘旋转。将两侧侧行车道分别绕中央分隔带边缘旋转,使之各自成为独立的单向超高断面。此时中央分隔带维持原来的水平状态,如图 2-27(b)所示。各种中间带宽度的公路均可选用此种方式。

③绕各侧行车道中线旋转。将两侧侧行车道分别绕各自的中线旋转,使之各自成为独立的单向超高断面。此时中央分隔带两边缘分别升高和降低为倾斜断面,如图 2-27(c)所示。这种超高方式适用于车道数大于 4 的公路。

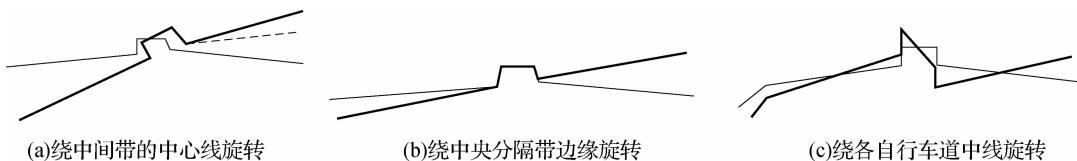


图 2-27 有中间带公路的超高过渡方式

## 四、曲线上的加宽

### 1. 加宽的原因

汽车在弯道上行驶时,一般前轮的轨迹半径和后轮的轨迹半径是不同的。目前绝大多数的汽车前轮可以自由地转动一定的角度,而后轮只能直行,不能随便转动,因此汽车在弯道上行驶时前后轮的轮迹不会重叠,并且后轮内轮轮迹的弧线半径比前外轮轮迹的弧线半径小一些。当汽车沿内侧车道行驶时,如果转弯半径较小,则汽车的前轮轮迹会在公路上,而后轮轮迹就可能落到侧石线上。此外,在曲线上行驶时,驾驶员不可能将前轴中心的轨迹操纵得完全符合理论轨迹,而是有一定的摆幅(其摆幅值的大小与汽车速度有关),且汽车在曲线上行驶时的摆幅要比在直线上的大。综上分析,公路弯道内侧的路面应该加宽。

### 2. 加宽值的计算

#### 1) 计算公式

汽车进入圆曲线后,汽车前轮的转向角是保持不变的,因此,汽车的行驶轨迹也是圆曲线,并且各部分的轨迹都与公路中线平行。那么,圆曲线起点至圆曲线终点的路面加宽值也是一个不变的定值,这个定值称为圆曲线的全加宽值,如图 2-28 所示。

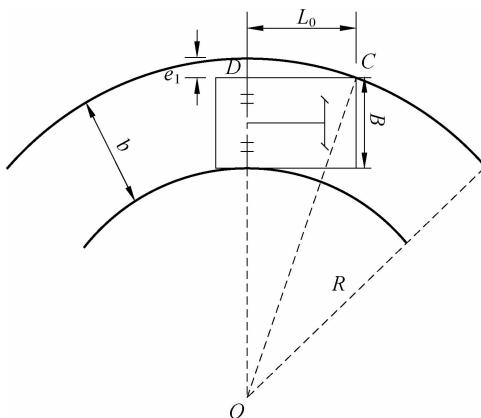


图 2-28 平曲线上的路面加宽

$R$ —平曲线半径(m); $L_0$ —汽车后轴至车身边缘的长度(等于汽车轴距加前悬,m);

$B$ —车辆宽度(m); $b$ —辆车实际占路面宽度(m); $e_1$ —一个车道的加宽值(m)

由直角  $\triangle COD$  得出下列关系

$$L_0^2 + (R - e_1)^2 = R^2$$



展开后得

$$R^2 - L_0^2 = R^2 - 2Re_1 + e_1^2$$

即

$$(2R - e_1)e_1 = L_0^2$$

$e_1$  值与  $2R$  相比很小,为了简化计算,可略去不计,因此有

$$e_1 = \frac{L_0^2}{2R}$$

则对于有  $N$  个车道的行车道,总加宽值  $e_N$  为

$$e_N = \frac{NL_0^2}{2R} \quad (2-38)$$

据实测,汽车转弯摆动加宽值与车速有关,一个车道摆动加宽值  $e$  的计算经验公式为

$$e = \frac{0.05V}{\sqrt{R}} \quad (2-39)$$

式中,  $V$  为计算行车速度(km/h)。

如果为双车道公路,则每个车道都应加宽,考虑车速的影响时曲线上双车道路面的加宽值  $W$  为

$$W = \frac{L_0^2}{R} + \frac{0.1V}{\sqrt{R}} \quad (2-40)$$

## 2) 加宽标准

《公路路线设计规范》规定:二、三、四级公路的圆曲线半径小于或等于 250 m 时,应在圆曲线的内侧设置加宽;各级公路路面加宽后,路基也应相应加宽;由三条以上车道构成的行车道,其路面加宽值应另行计算。双车道路面加宽值规定见表 2-26。

表 2-26 双车道路面加宽值

单位:m

加宽类别	汽车轴距加前悬/m	圆曲线半径/m								
		250~200	200~150	150~100	100~70	70~50	50~30	30~25	25~20	20~15
1	8	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	2.5
2	8	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	2.0	—	—	—
3	5.2+8.8	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	—	—	—	—

圆曲线加宽类别应根据该公路的交通组成确定。二级公路以及设计速度为 40 km/h 的三级公路有集装箱半挂车通行时,应采用第 3 类加宽值;不经常通行集装箱半挂车时,可采用第 2 类加宽值。四级公路和设计速度为 30 km/h 的三级公路可采用第 1 类加宽值。

双车道公路当采取强制性措施实行分向行驶的路段,其圆曲线半径较小时,内侧车道的加宽值应大于外侧车道的加宽值,设计时应通过计算确定其差值。

## 3. 加宽过渡段

路面在圆曲线上加宽后,为避免路面从直线段上的正常宽度到圆曲线段的加宽断面的突变,在直线和圆曲线之间应设置一段宽度的渐变段,这一渐变段称为加宽过渡段。其过渡形式主要有如下几个。



### 1) 直线过渡

二、三、四级公路的加宽过渡段的设置,采用在相应的回旋线或超高、加宽过渡段全长范围内,按其长度成比例增加的方法,即加宽过渡段上任一点的加宽值  $W_x$  与该点到加宽过渡段起点的距离  $L_x$  成正比。

$$W_x = \frac{L_x}{L_s} W \quad (2-41)$$

式中, $W_x$  为加宽过渡段上任一点的加宽值(m); $L_x$  为加宽过渡段上任一点到过渡段起点的距离(m); $L_s$  为加宽过渡段长度(m); $W$  为圆曲线的加宽值(m)。

### 2) 高次抛物线形过渡

高速公路、一级公路以及对路容有一定要求的二级公路设置加宽过渡段时,为使路面加宽后的边缘线圆滑、顺适,一般情况下应采用高次抛物线的形式过渡,如图 2-29 所示。加宽过渡段上任一点的加宽值  $W_x$  为

$$W_x = (4k^3 - 3k^4)W \quad (2-42)$$
$$k = L_x / L_s$$

### 3) 插入回旋线过渡

如图 2-30 所示,在过渡段上插入回旋线,这样不但中线上有回旋线,而且加宽以后的路面边缘线也是回旋线,与行车轨迹相符,保证了行车的顺适与线形的美观。这种方式一般用于一、二级公路中的下列路段:①位于大城市近郊的路段;②桥梁、高架桥、挡土墙、隧道等构造物处;③设置各种安全防护设施的路段。

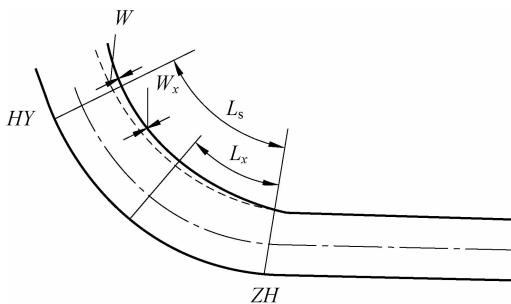


图 2-29 高次抛物线加宽形式

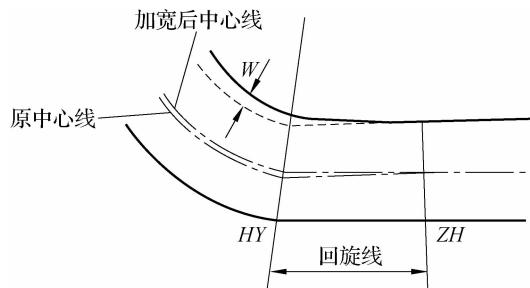


图 2-30 回旋线加宽形式

此外,加宽过渡的方式还有二次抛物线法、直线与圆弧相切法、修正系数法等,本书不一一介绍。

## 五、行车视距

视距是指驾驶员在行驶过程中的通视距离。为了保证行车安全,驾驶员应能看到前方一定距离的公路路面,以便及时发现障碍物或对面来车,使汽车在一定的车速下及时制动或绕过。汽车在这段时间里沿路面行驶的最短距离称为行车视距。行车视距直接影响到汽车行驶的安全与速度,因此,无论在公路的平面上或纵断面上,都应保证必要的行车视距。

### 1. 行车视距的分类

行车视距根据通视的要求不同,分为停车视距、会车视距和超车视距三种。





### 1) 停车视距

当汽车在单车道或有明显分隔带的双车道公路上行驶时,如前面有障碍物或路面破坏处,驾驶员不可能将车驶入邻近车道去绕过它,只有采取制动措施,使汽车在障碍物前完全停住,以保证安全。停车视距就是指当驾驶员发现前方有障碍物后,立即采取制动措施,至汽车在障碍物前停下来所需要的最短距离,如图 2-31 所示,它由 3 部分组成,即

$$S_T = S_1 + S_2 + S_0 \quad (2-43)$$

式中, $S_T$  为停车视距(m); $S_1$  为驾驶员反应时间内行驶的距离(m); $S_2$  为制动距离,指制动生效到汽车完全停止时行驶的距离(m); $S_0$  为安全距离(m)。

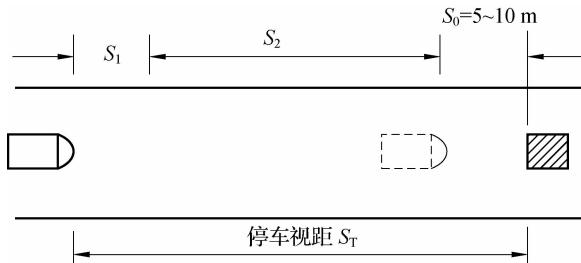


图 2-31 停车视距

### 2) 会车视距

会车视距是指两辆对向行驶的汽车能在同一车道上及时刹车所必需的距离。如图 2-32 所示,会车视距也是由 3 部分组成:①双方驾驶员反应时间内所行驶的距离  $S_{A1}+S_{B1}$ ;②双方汽车的制动距离  $S_{A2}+S_{B2}$ ;③安全距离  $S_0$ 。

参照国内外的普遍做法,会车视距取停车视距的 2 倍。

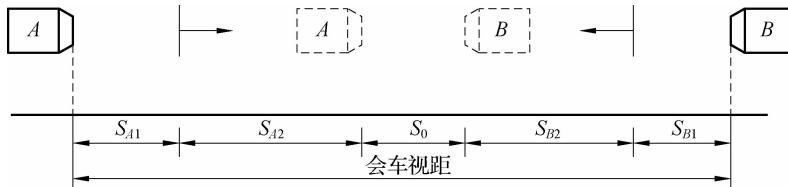


图 2-32 会车视距

### 3) 超车视距

在交通稠密并有混合交通的双车道公路上,经常会出现高速车超越低速车的情况,则汽车在行驶时为超越前车所必需的距离,就称为超车视距。如图 2-33 所示,超车视距全程可分为 4 个阶段。

(1) 加速行驶距离  $S_1$ 。当汽车赶上低速车时,首先应尾随在低速车后行驶一段距离,经判断认为有超车可能后,再加速行驶移向对向车道,则在进入该车道之前行驶的距离  $S_1$  为

$$S_1 = \frac{V_0}{3.6} t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2$$

式中, $V_0$  为被超汽车的速度,一般较设计速度低 10~20 km/h; $t_1$  为加速时间,一般取 2.9~4.5 s; $a$  为平均加速度( $m/s^2$ )。



(2) 超车汽车在对向车道上行驶的距离  $S_2$ 。

$$S_2 = \frac{V}{3.6} t_2$$

式中,  $V$  为超车汽车的速度(km/h);  $t_2$  为对向车道行驶时间(s)。

(3) 超车汽车从开始加速到超车完成的时间内, 对向车道汽车的行驶距离  $S_4$ 。

$$S_4 = \frac{V}{3.6} (t_1 + t_2)$$

(4) 超车完成时, 超车汽车与对向汽车之间的安全距离  $S_3$ 。

$$S_3 = 20 \sim 60 \text{ m}$$

以上 4 个距离之和就是全超车视距  $S_C$ , 即

$$S_C = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad (2-44)$$

由式(2-44)确定的超车视距较长, 现实中不容易满足。其实, 当汽车在对向车道上追上被超汽车后, 一旦发现对向有来车而距离不足时, 该车还可以回到原来的车道上, 所以在实际中, 只要考虑超车汽车从完全进入对向车道到超车完毕时所行驶的时间就能够保证安全。一般汽车从对向车道赶上前车的时间为  $t_2/3$ , 那么从这时开始到超车完成的时间则为  $2t_2/3$ , 即其行驶距离为  $\frac{2}{3}S_2 = \frac{2}{3} \times \frac{V}{3.6} t_2$ , 则最小必要超车视距为

$$S_{C\min} = \frac{2}{3} S_2 + S_3 + S_4 \quad (2-45)$$

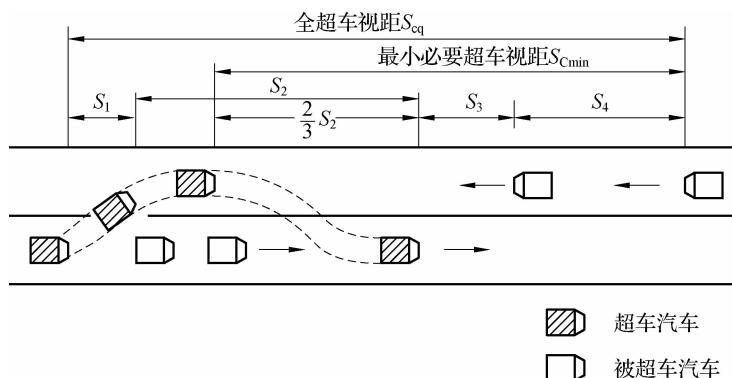


图 2-33 超车视距

## 2. 行车视距的标准

《公路路线设计规范》规定:“高速公路、一级公路的视距采用停车视距。二级公路、三级公路、四级公路的视距应满足会车视距要求, 其长度应不小于停车视距的 2 倍。受地形条件或其他特殊情况限制而采取分道行驶措施的地段, 可采用停车视距。”

高速公路、一级公路由于设置中央分隔带, 是单向行驶公路, 不存在会车现象, 故只需满足停车视距即可。此外, 高速公路、一级公路每侧至少有两个车道, 当需要超车时, 可进入超车道, 且前方无来向车辆, 故高速公路和一级公路没有超车视距的要求。

其他各级公路由于是双向混合行驶的公路, 存在会车现象, 而且公路上的超车情况也很多, 故不仅需要满足会车视距要求, 还应考虑超车视距的要求。具有干线功能的二级公路宜在 3 min 的行驶时间内, 提供一次满足超车视距要求的超车路段; 其他双车道公路可根据情





况间隔设置具有超车视距的路段。

各级公路每条车道的停车视距规定见表 2-27。二级公路、三级公路、四级公路的超车视距规定见表 2-28。

表 2-27 各级公路每条车道的停车视距

设计速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
停车视距/m	210	160	110	75	40	30	20

表 2-28 二级公路、三级公路、四级公路的超车视距

设计速度/(km/h)	80	60	40	30	20	
超车视距/m	一般值	550	350	200	150	100
	最小值	350	250	150	100	70

注：“一般值”为正常情况下的采用值；“最小值”为条件受限制时可采用的值。

### 3. 视距保证措施

汽车在弯道上行驶时，弯道内侧行车视线有可能被树木、建筑物、路堑边坡或其他障碍物遮挡。因此，在路线设计时必须检查平曲线上的视距是否能得到保证，如有遮挡，则必须采取措施（如清除妨碍视线的障碍物等）以保证行车安全。

对弯道进行视距的检查是根据沿内侧车道边缘 1.5 m 处行驶的汽车的行驶情况进行的，如图 2-34 所示，图中阴影部分是阻碍驾驶员视线的范围，范围以内的障碍物均应清除。图中，S 为平面视距的长度，驾驶员的视线高为 1.2 m； $Z_0$  为障碍物线至行车轨迹线之间的距离；Z 为汽车轨迹线与视线之间的距离，即内侧车道上汽车应保证的横净距。 $Z - Z_0$  值是弯道上必须清除的最大横净距，它在曲线的中点或中点附近。其他任意点的横净距设为  $Z_1$ ，则该点的清除宽度为  $Z_1 - Z_0$ 。

$Z_1$  通常用图解法求得。如图 2-35 所示，1-1、2-2、3-3、……是在行车轨迹线上按规定的设计视距 S 量出多组对应的起终点，分别把各组对应起终点连接起来，与这些线相切的曲线（包络线）即为视距曲线。在视距曲线与轨迹线之间的空间范围是应保证通视的区域，在这个区域内的障碍物应予清除。

对于二、三、四级公路，在工程条件困难或受其他条件严格限制的路段，若不能清除障碍物以保证 2 倍停车视距时，可采用 1 倍停车视距，但必须采取严格的分道行驶措施，如设分道线、设中间分隔带或分隔桩，或设成两条分离的单车道等，并应在其起终点处分别设立警告标志牌。须注意的是，无论在什么情况下，停车视距都必须保证，如保证不了停车视距，则其内侧的障碍物一定要清除，以保证行车安全的最低要求。

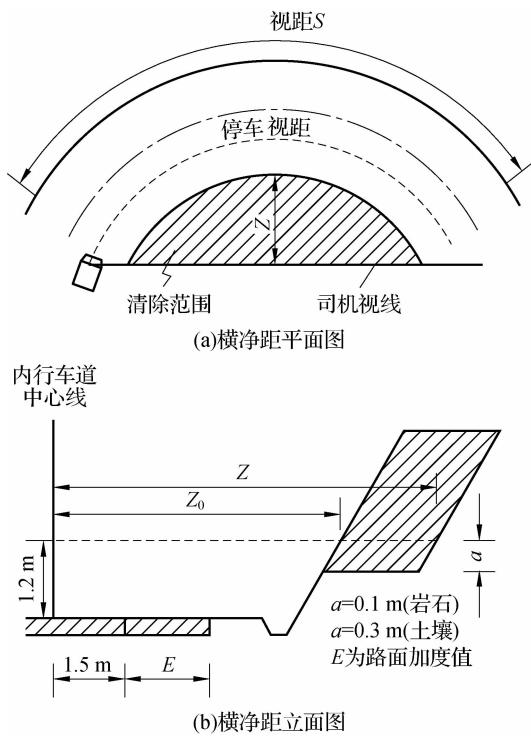


图 2-34 弯道内侧视距障碍物清除

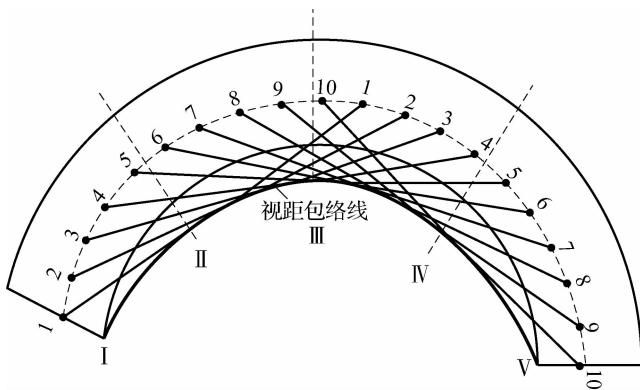


图 2-35 图解法确定横净距

## 六、公路建筑限界与公路用地

### 1. 公路建筑限界

公路建筑限界是为了保证公路上规定的车辆正常运行与安全,在一定宽度和高度范围内,不得有任何障碍物侵入的空间范围。在进行公路横断面设计时,应充分研究组成路幅要素的相互关系及公路的各种设施的设置规划,在有限的空间内做出合理的安排,绝对不允许有任何障碍物侵入。

公路建筑限界分为净高和净宽两部分。净宽是指在规定的净高范围内应保证的宽度。





对高速、一级公路,净宽包括行车带、路缘带、硬路肩、部分中央分隔带的宽度;二、三、四级公路,净宽包括行车带及部分路肩的宽度。上述规定的路肩宽度是在净空范围以内的,所以公路上的各种设施(护栏、标志牌等)应该设置在路肩以外的保护性路肩上,而且必须保证其伸入部分在净高以上。

公路建筑限界如图 2-36 所示,《公路路线设计规定》对其有如下的规定。

(1)当设置有加(减)速车道、爬坡车道、慢车道、紧急停车带、错车道时,建筑限界应包括相应部分的宽度。

(2)八车道及其以上整体式路基的高速公路,设置左侧硬路肩时,建筑限界应包括相应部分的宽度。

(3)桥梁、隧道设置检修道、人行道时,建筑限界应包括相应部分的宽度。

(4)检修道、人行道与行车道分开设置时,其净高应为 2.50 m。

(5)一条公路应采用同一净高,高速公路、一级公路、二级公路的净高应为 5.00 m,三级公路、四级公路的净高应为 4.50 m。

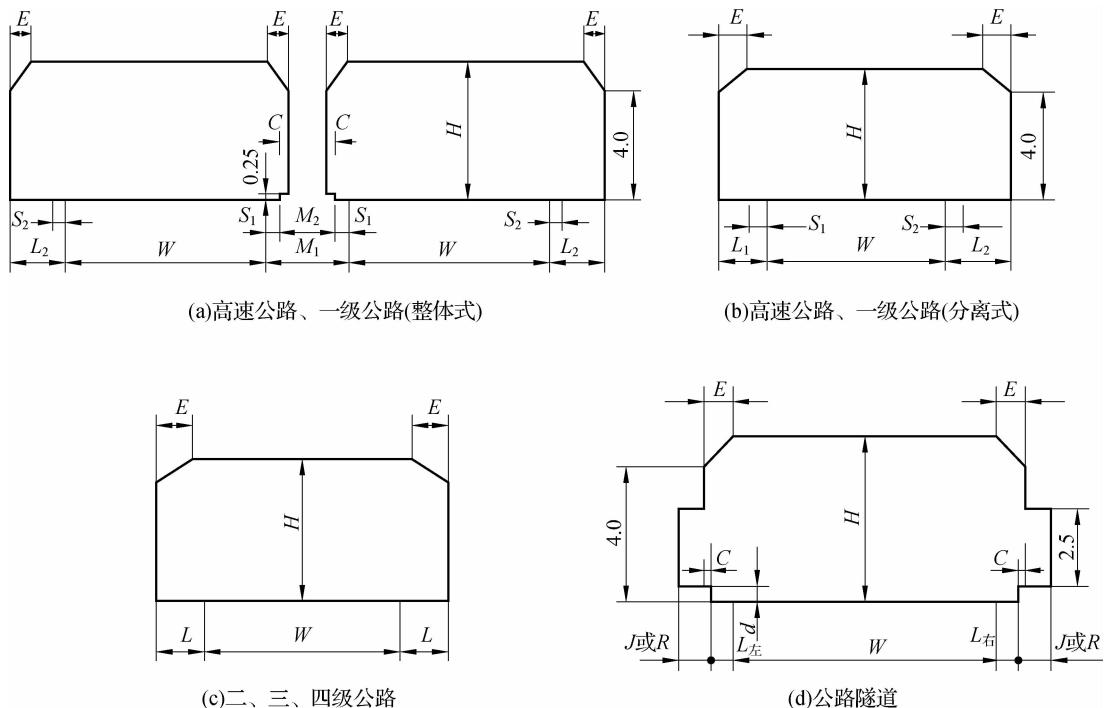


图 2-36 公路建筑限界(单位:m)

$W$ —行车道宽度; $L_1$ —左侧硬路肩宽度; $L_2$ —右侧硬路肩宽度; $S_1$ —左侧路缘带宽度; $S_2$ —右侧路缘带宽度;

$L$ —侧向宽度(高速公路、一级公路的侧向宽度为硬路肩宽度  $L_1$  或  $L_2$ ,二、三、四级公路的侧向宽度

为路肩宽度减去 0.25 m,隧道内侧向宽度  $L_{\text{左}}$  或  $L_{\text{右}}$  应符合隧道最小侧向宽度的规定);

$C$ —当设计速度大于 100 km/h 时为 0.5 m,等于或小于 100 km/h 时为 0.25 m;

$M_1$ —中间带宽度; $M_2$ —中央分隔带宽度; $J$ —隧道内检修道宽度;

$R$ —隧道内人行道宽度; $d$ —隧道内检修道或人行道高度;

$E$ —建筑限界顶角宽度(当  $L \leq 1$  m 时  $E = L$ ,

当  $L > 1$  m 时  $E = 1$  m); $H$ —净空高度



## 2. 公路用地范围

公路建设应贯彻切实保护耕地、节约用地的原则,在确定公路用地范围时应符合以下规定。

(1)公路路堤两侧排水沟外边缘(无排水沟时为路堤或护坡道坡脚)以外,或路堑坡顶截水沟外边缘(无截水沟为坡顶)以外不小于1m范围内的土地,在有条件的地段,高速公路和一级公路不小于3m、二级公路不小于2m范围内的土地为公路路基用地范围。

(2)在风沙、雪害等特殊地带,需设置防护林,种植固沙植物,安装防沙或防雪栅栏及设置反压护道等设施时,应根据实际需要确定用地范围。

(3)桥梁、隧道、互通式立体交叉、分离式立体交叉、平面交叉、交通安全设施、服务设施、管理设施、绿化以及料场、苗圃等用地,应根据实际需要确定用地范围。

(4)有条件或环境保护要求种植多行林带的路段,应根据实际情况确定用地范围。

(5)改建公路可参照新建公路用地范围的规定执行。

## 七、土石方计算与调配

### 1. 路基土石方计算

#### 1) 横断面面积计算

路基填挖的断面面积,是指断面图中原地面线与路基设计线所包围的面积,高于地面线者为填,低于地面线者为挖,两者应分别计算,下面介绍几种常用的面积计算方法。

(1)积距法。积距法也称条分法,是把横断面图划分成若干条等宽的小条,累加每一小条中心处的高度,再乘以条宽即为该图形的面积。积距法适用于不规则图形面积计算。如图2-37所示,将断面按单位横宽划分为若干个近似梯形与三角形条块,每个小条块的近似面积为 $A_i = lh_i$ ,则横断面面积为

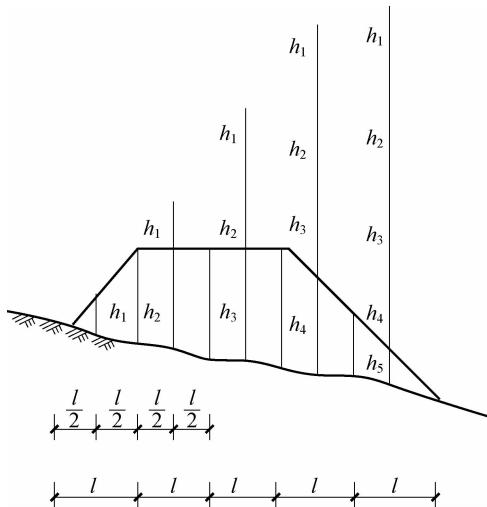


图 2-37 积距法图

$$A = l \sum_{i=1}^n h_i \quad (2-46)$$



要求得  $\sum_{i=1}^n h_i$  的值,可以用卡规逐一量取各条块高度的累积值(称为卡规法);当面积较大卡规张度不够用时,也可用厘米方格纸折成窄条代替卡规量取积距(称为纸条法)。若地面线较顺直,可以增大  $l$  的数值。若要进一步提高精度,可增加测量次数最后取其平均值。

(2)坐标法。采用坐标法时,建立如图 2-38 所示的坐标系。已知断面图上各转折点坐标  $(x_i, y_i)$ ,则断面面积为

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2-47)$$

坐标法的精度较高,适宜用计算机计算。

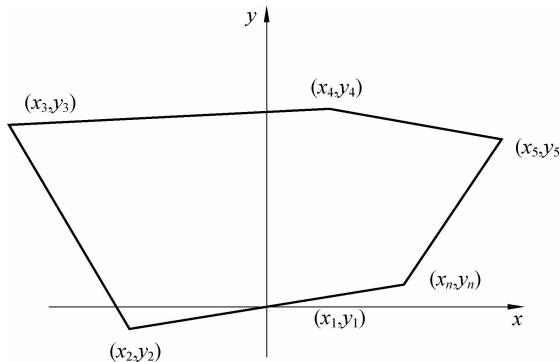


图 2-38 坐标法

(3)几何图形法。当横断面的地面线较规则且横断面面积较大时,可将路基横断面分为几个规则的几何图形,如三角形、矩形和梯形,然后分别计算各图形面积,最后相加得到总面积。

(4)混合法。混合法是积距法与几何图形法的综合,目的是可以方便求解一个较大的横断面面积,加快计算速度。

## 2) 土石方数量计算

(1)平均断面法。若相邻两断面均为填方或均为挖方且面积大小相近,则可假定两断面之间为一棱柱体,如图 2-39 所示,其体积的计算公式为

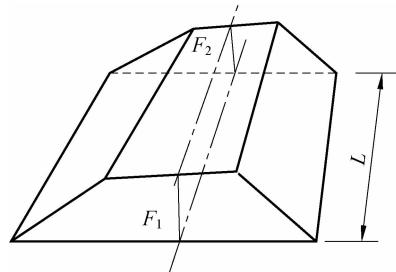


图 2-39 平均断面法

$$V = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) L \quad (2-48)$$

式中,  $V$  为体积,即土石方数量( $m^3$ );  $F_1$ 、 $F_2$  分别为相邻两断面的面积( $m^2$ );  $L$  为相邻断面之



间的距离(m)。

平均断面法计算简易,是公路上目前常采用的方法。但其精度较差,只有当相邻断面面积  $F_1$ 、 $F_2$  相差不大时才较准确。

(2)棱台体积法。若  $F_1$  和  $F_2$  相差较大,则两断面间的形状与棱台更为接近。其计算公式为

$$V = \frac{1}{3}(F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2})L \quad (2-49)$$

棱台体积法的精度较高,应尽量采用,特别是用计算机计算时。

### 3)土石方数量计算要点

(1)填方和挖方的面积应分别计算。

(2)填方或挖方中的土、石方也应分别计算,因为其工程造价不同。挖方断面的土、石方可按该桩号所对应的横断面,并结合公路外业勘测的相关资料分别统计。填方断面,当无特殊要求时可不考虑,以简化计算;但若填土或填石相对明确时则应分别考虑,如某路基要求施工时有抛石挤淤,则该部分应为石方。

(3)有些情况下横断面上的某一部分面积可能既是挖方体积,又要算作填方体积,例如,有淤泥时既要挖除,又要回填其他材料。

(4)用上述的平均断面法或棱台法计算的土石方体积中包含了路面体积。若所设计的纵断面有填有挖且基本平衡,则填方断面中多算的路面面积与挖方断面中少算的路面面积可相互抵消,其总体积与实施体积相差不大。但若路基是以填方为主或以挖方为主,则最好是在计算断面面积时将路面部分计入,也就是填方要扣除、挖方要增加路面所占的那一部分面积,特别是路面厚度较大时更不能忽略。

(5)计算路基土石方数量时,应扣除大、中桥及隧道所占路线长度的体积;桥头引道的土石方,可视需要全部或部分列入桥梁工程项目中,但应注意不要遗漏或重复;小桥涵所占的体积一般可不扣除。

## 2. 路基土石方调配

土石方调配的目的是为确定填方用土的来源、挖方弃土的去向,以及计价土石方的数量和运量等。通过调配,应能够合理地解决各路段土石方平衡与利用问题,使从路堑挖出的土石方在经济合理的调运条件下移作填方用,达到填方有所“取”、挖方有所“用”,避免不必要的路外借土和弃土,以达到减少占用耕地和降低公路造价的目的。

### 1)土石方调配原则

(1)在半填半挖断面中,应首先考虑在本路段内移挖作填,进行横向平衡,然后再作纵向调配,以减少总的运输量。

(2)土石方调配应考虑桥涵位置对施工运输的影响,一般大沟不作跨越调运。

(3)应注意施工的可行性与方便性,尽可能避免和减少上坡运土。位于山坡上的回头曲线段,应优先考虑上线向下线的土方竖向调运。

(4)为使调配合理,必须根据地形情况和施工条件,选用适当的运输方式,确定合理的经济运距,用以分析工程用土是调运还是外借。

(5)综合考虑弃土或借方占地、赔偿青苗损失及对农业生产的影响等问题,应进行远运利用与附近借土的经济比较,即移挖作填费用与借土费用的比较。





(6)不同的土方和石方应根据工程需要分别进行调配,以保证路基稳定和人工构造物的材料供应。

(7)土方调配对于借土和弃土应事先同地方政府部门商量,妥善处理。借土应结合地形、农田规划等选择借土地点,并综合考虑借土还田,整地造田等措施。弃土应不占或少占耕地,在可能条件下宜将弃土平整为可耕地,不得乱弃乱堆,以防止堵塞河流、毁坏农田等。

### 2)关于调配计算的几个问题

(1)经济运距。填方用土来源,一是路上纵向调运,二是就近路外借土。一般情况调运路堑挖方来填筑距离较近的路堤还是比较经济的。但如调运的距离过长,以致运价超过了在填方附近借土所需的费用时,移挖作填就不如就地借土经济。因此,采取“调”还是“借”有个限度距离问题,这个限度距离即所谓“经济运距”。经济运距是确定借土或调运的界限,当调运距离小于经济运距时,采取纵向调运是经济的,反之则可考虑就近借土。

(2)平均运距。土方调配的运距,是指从挖方体积的重心到填方体积的重心之间的距离。在路线工程中为简化计算,这个距离可简单地按挖方断面间距中心至填方断面间距中心的距离计算,称为平均运距。在纵向调配时,当其平均运距超过定额规定的免费运距时,应按其超运运距计算土石方运量。

(3)免费运距。土方作业包括挖、装、运、卸四道工序。在某一特定距离内,只按挖方数计价而不另计运费,这一特定距离称为免费运距。显然施工方法不同,其免费运距也不同,如人工作业时,人工运输的免费运距为20m,轻轨运输的免费运距为50m;机械作业时,推土机的免费运距为20m,铲运机的免费运距为100m等。各种作业的免费运距,可由《公路工程预算定额》(JTGT B06—02—2007)和《公路工程概算定额》(JTGT B06—01—2007)中查得。

(4)运量。土石方运量为平均运距与土石方调配数量的乘积。在生产中,工程定额是将平均运距每10m划为一个运输单位,称为级,20m为两个运输单位,称为二级,在土石方计算表内可用符号①、②表示,依此类推。不足10m时,仍按一级计算或四舍五入。运量的单位为“级立方米”,计算公式为

$$\text{运量} = \text{调配土石方数量} \times n$$

$$n = \frac{L - L_{\text{免}}}{N}$$

式中,n为平均超运运距(级);L为平均运距(m); $L_{\text{免}}$ 为免费运距(m);N为超运运距(m)(如人工运输为10m,轻轨运输为50m等)。

(5)计价土石方。在土石方调配中,所有挖方无论是“借”或“调”,都应予以计价。但对于填方则要根据用土来源来决定是否计价。如果是路外借土,那必须计价;倘若是移挖作填调配利用,则不应再计价,否则形成双重计价(即路堑挖方和路堤填方两次计价)。因此计价土石方必须通过土石方调配表来确定,其数量为

$$\text{计价土石方数量} = \text{挖方数量} + \text{借方数量}$$

一般工程上所说的土石方总量,实际上是指计价土石方数量。一条公路的土石方总量,一般包括路基工程、排水工程、临时工程、小桥涵工程等项目的土石方数量。对于独立大、中桥梁、长隧道的土石方工程数量应另外计算。

### 3)土石方调配方法

土石方调配方法有多种,如累积曲线法、调配图法及土石方计算表调配法等。目前多采



用土石方计算表调配法,该法不需绘制累积曲线图与调配图,直接可在土石方表上进行调配。其优点是方法简捷、调配清晰、精度符合要求。该表也可由计算机自动完成。具体调配步骤如下。

(1)土石方调配是在土石方数量计算与复核完毕的基础上进行的。调配前应将可能影响运输调配的桥涵位置、陡坡、大沟等注在表旁,供调配时参考。

(2)弄清各桩号间路基填挖方情况并横向平衡,明确利用、填缺与挖余数量。

(3)在纵向调配前,应根据施工方法及可能采取的运输方式定出合理的经济运距,供土石方调配时参考。

(4)根据填缺、挖余的分布情况,结合路线纵坡和自然条件具体拟定调配方案。方法是逐桩逐段地将毗邻路段的挖余就近纵向调运到填缺内加以利用,并把具体调运方向和数量用箭头标明在纵向利用调配栏中。

(5)经过纵向调配,如果仍有填缺或挖余,则应会同当地政府协商确定借土或弃土地点,然后将借土或弃土的数量和运距分别填注到借方或弃方栏内。

(6)土石方调配后,应按下式进行复核检查。

$$\text{横向调运} + \text{纵向调运} + \text{借方} = \text{填方}$$

$$\text{横向调运} + \text{纵向调运} + \text{弃方} = \text{挖方}$$

$$\text{挖方} + \text{借方} = \text{填方} + \text{弃方}$$

以上检查一般是逐页进行复核的,如有跨页调配,须将其数量考虑在内。通过复核可以发现调配与计算过程有无错误,经核实无误后,即可分别计算计价土石方数量、运距和运量等,为编制施工预算提供土石方工程数量。

## 八、公路横断面图设计成果

公路横断面设计成果包括路基横断面设计图、路基标准横断面图、路基设计表、土石方数量表、每公里土石方数量计算表、路基土石方运量计算表等。这里仅对路基横断面设计图、路基标准横断面图、路基设计表和路基土石方计算表加以介绍。

### 1. 路基横断面设计图

路基横断面设计图是路基每一个中桩的法向剖面图,它反映每个桩位处横断面的尺寸及结构,是路基施工及横断面面积计算的依据。横断面设计图应按从上到下、从左到右的方式进行布置,一般采用1:200的比例尺。图中应给出地面线和设计线,并标注桩号、施工高度与断面面积;相同的边坡坡度可只在一个断面上标注;挡墙等构造物可只绘出形状,不标注尺寸;边沟也只需绘出形状。

#### 1) 路基横断面图的形式

(1)填方路基。填方路基即路堤,如图2-40(a)所示,在图下注有该断面的里程桩号,右侧注有中心线处的填方高度 $h_T$ (m)以及该断面的填方面积 $A_T$ ( $m^2$ )。

(2)挖方路基。挖方路基即路堑,如图2-40(b)所示,在图下注有该断面的里程桩号,右侧注有中心线处的挖方高度 $h_w$ (m)以及该断面的挖方面积 $A_w$ ( $m^2$ )。

(3)半填半挖路基。半填半挖路基是前两种路基的综合,如图2-40(c)所示,在图下仍注有该断面的里程桩号,右侧注有中心线处的填(或挖)方高度 $h_T$ 或 $h_w$ (m)以及该断面的填方面积 $A_T$ 和挖方面积 $A_w$ 。





## 2) 读图

如图 2-41 所示,路基横断面设计图的识读应顺桩号由下往上、从左往右进行,以了解每一桩号处的路基标高、路基边坡、填(或挖)方高度以及填(或挖)方面积。

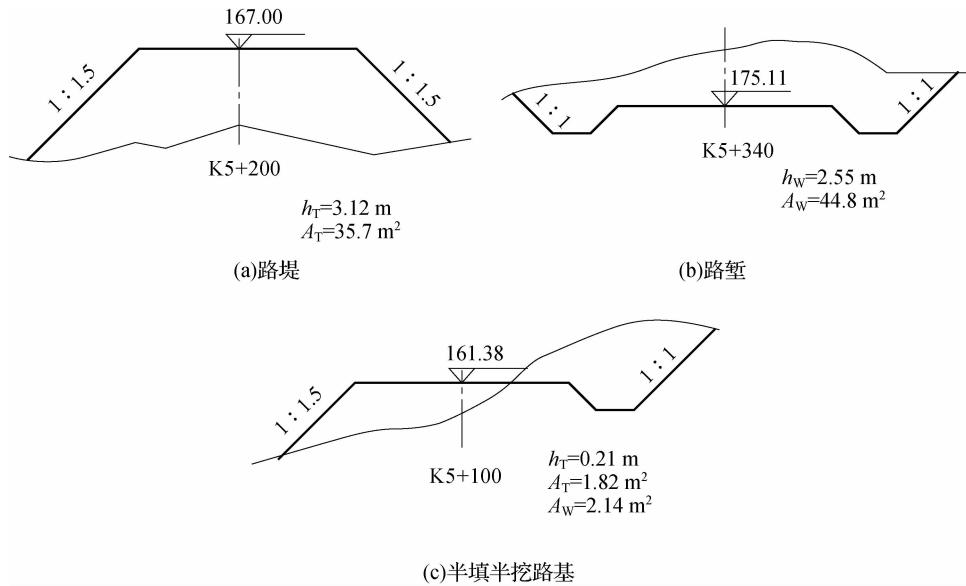


图 2-40 路基横断面图的基本形式

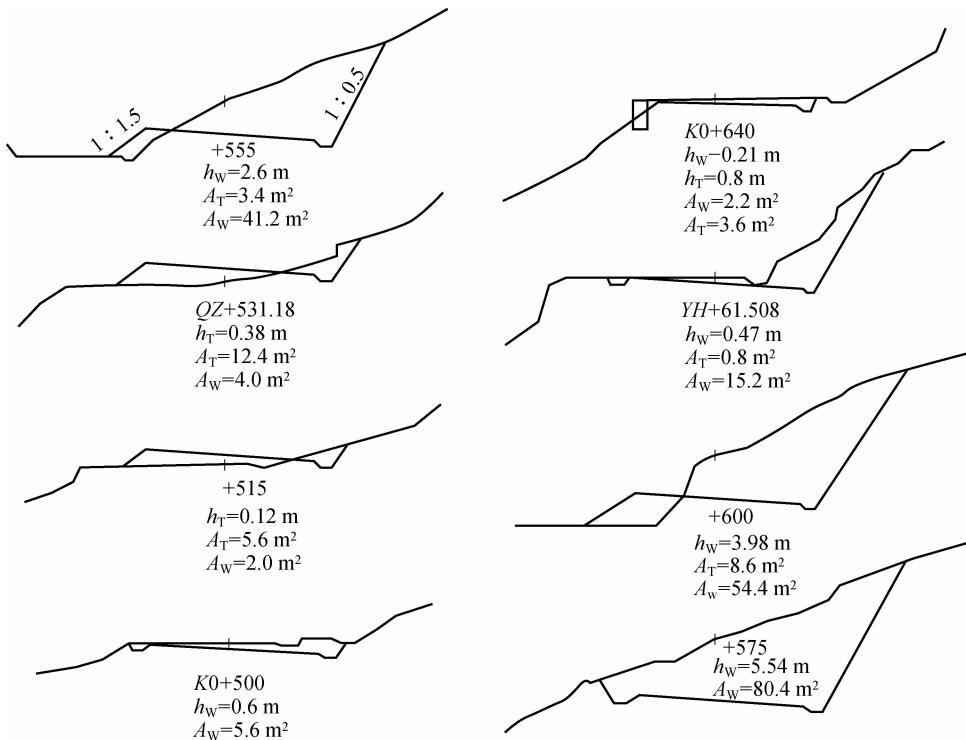


图 2-41 路基横断面设计图



## 2. 路基标准横断面图

路基标准横断面图是路基横断面设计图中所出现的所有路基形式的汇总。它表示了所有设计线(包括边沟、边坡、挡墙、路肩)的形状、尺寸和比例,用以指导施工。这样路基设计横断面图就不必对每一个断面进行详细的标注,避免了工作的重复和繁琐,也使得设计图比较简洁。

## 3. 路基设计表

路基设计表是路线设计和路基设计成果的综合体现,是平、纵、横等主要测设资料的综合,在公路设计文件中占有重要地位,如表 2-29 的某路段的路基设计表。路基设计表的前半部分是平面与纵面设计成果,横断面设计完成后,再将边坡、边沟等栏填上。其中边沟一栏的坡度如不填写,表明沟底纵坡与公路纵坡一致;如果不一致,则需另外填写。

## 4. 路基土石方计算表

路基土石方是公路工程的一项主要工程量,在公路设计和路线方案比较中,路基土石方数量的多少是评价公路建设质量的主要技术经济指标之一;在编制公路施工组织计划和工程概预算时,还需要确定分段和全线的路基土石方数量。表 2-30 为某路段的路基土石方计算表。

# 课题四 道路交叉

道路系统是由各种不同方向的道路所组成,由于道路的纵横交错,不可避免地形成道路交叉,即两条或两条以上道路的交会。交叉口是道路系统的重要组成部分,是道路交通的咽喉。根据各相交道路在交叉点的标高,可将道路交叉分为平面交叉和立体交叉两种类型。

一般相交道路在同一平面上的交叉称为平面交叉,交叉处称为平面交叉口;相交的道路分别在不同平面上的交叉称为立体交叉。

## 一、道路平面交叉

### 1. 交叉口设计的内容与要求

公路平面交叉时,交叉口范围内的各种车辆和行人都要在交叉口汇集、通过或转换方向。由于它们之间的相互干扰,会使行车速度降低,阻滞交通,耽误通行时间,也易发生交通事故。因此,如何设计交叉口,合理组织交通,提高交叉口的通行能力,避免交通阻塞及减少交通事故,具有十分重要的意义。

交叉口设计有两个基本要求:一是保证车辆和行人能以最短的时间安全通过交叉口,使交叉口的通行能力能适应各条道路的行车要求;二是正确设计交叉口的立面,即通过合理设计,以保证转弯车辆的行车稳定,同时符合排水要求。

交叉口设计主要有如下内容。

- (1)合理选择交叉口的形式与类型、合适的平面布置,并确定各组成部分的几何尺寸。
- (2)进行合理的交通组织,合理布置各种交通设施。
- (3)交叉口的视距保证,满足安全通行条件。
- (4)合理进行交叉口的立面设计,布置各种排水设施。





表 2-29 某路段的路基设计表

××公路×××××路段

平曲线	坡度坡长及 竖曲线交点 的桩号	竖曲线要素	桩号	地面高程 /m	设计高程 /m	填挖高度 /m	横断面各点与设计线的距离/m						备注								
							左			右											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
			K22+200	36.72	37.94	1.22	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+240	36.69	38.00	1.32	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+270	36.76	38.00	1.33	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+300	36.71	38.19	1.48	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+330	36.67	38.29	1.62	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+340	36.63	38.37	1.74	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+370	36.65	38.54	1.89	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+400	36.64	38.74	2.10	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+430	36.70	38.76	2.27	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+470	36.63	39.31	2.67	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+500	36.66	39.60	2.94	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+532.90	36.63	40.02	3.39	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+570	36.53	40.33	3.80	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+600	36.53	40.59	4.06	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+605	36.54	40.63	4.09	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+608	34.28	40.65	6.37	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+636	34.28	40.85	6.57	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+638	36.54	40.86	4.32	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+640	36.49	40.87	4.38	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+670	36.38	41.04	4.66	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+700	36.51	41.17	4.66	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+730	36.49	41.26	4.77	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			739.96	36.51	41.27	4.76	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.22	0.25	0.17	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+770	36.60	41.31	4.71	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.11	0.13	0.09	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+800	36.51	41.30	4.78	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	0.00	0.02	0.01	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+808	36.46	41.29	4.83	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	-0.03	-0.01	-0.01	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+809	36.61	41.29	4.68	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	-0.04	-0.02	-0.01	-0.17	-0.25	-0.27			
			K22+811	36.66	41.28	4.63	14.00	13.25	9.25	9.25	13.25	14.00	-0.05	-0.02	-0.02	-0.17	-0.25	-0.27			

公路等级平面图



××公路××段

表 2-30 某路段的路基土石方计算表

桩号	横断面积 /m <sup>2</sup>	距 离 /m	挖方分类及数量/m <sup>3</sup>						填方数量 /m <sup>3</sup>						利用方数量(m <sup>3</sup> )及运距(m)						借方 数量 /m <sup>3</sup>	废方 数量 /m <sup>3</sup>	计价土石 方总数量 /m <sup>3</sup>	备注			
			土						石						本坡利用			填缺			远向调配						
			填	挖	%	数量	%	数量	%	数量	%	数量	%	数量	%	土	石	土	石	土	石	土	石	土	石		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
K37+40.00	15.2	25.00															399	399									
+425.00	16.7	25.00															439	439									
+450.00	18.4	25.00	40	20	8	80	32										388	388	32								
+475.00	12.6	3.2	17.17	126	20	25	80	101									158	158	101	57							
QZ+492.17	5.8	11.5	7.83	187	20	37	80	150									23	23	23		164						
+500.00	36.2	25.00	399.6	20	139	50	498										299				996	697	299				
+525.00	43.5	25.00	1 040	20	208	50	520										312				1 040	728	312				
+550.00	39.7	25.00	851	20	170	50	426										255				851	596	255				
+575.00	28.4	8.50	237	20	47	50	119										71				237	166	71				
+583.54	27.3	16.50	488	20	98	50	244										146				488	342	146				
+600.00	31.9	9.05	503	20	100	50	252										151				503	352	151				
YH+609.05	31.2	15.95	395	20	79	80	316										22	22	22		373						
+625.00	2.7	18.3	25.00	313	20	63	80	250									133	133	193		120						
+650.00	12.7	6.7	25.00	106	20	21	80	85									361	361	85		276						
+675.00	16.2	1.8	25.00	23	20	5	80	18									478	478	18		460						
+700.00	22.0																			512	512						
																				276							
																				460							
																				512							

平均运距85m

平均运距125m

开挖路堑表

土层上方不能用于填筑路堤;弃土方利用,利用方土石混填以石代土。



## 2. 平面交叉口的交通分析

各向车辆驶入交叉口后,以直行、右转弯或左转弯的方式汇入欲行驶方向的车流,再驶离交叉口。因此,由于行驶方向的不同,车辆间的交错方式也不相同,可能产生的交错点的性质也不一样。

如图 2-42 所示,同一行驶方向的车辆向不同方向分离行驶的地点称为分流点;来自不同行驶方向的车辆以较小的角度,向同一方向汇合行驶的地点称为合流点;来自不同行驶方向的车辆以较大的角度相互交叉的地点称为冲突点。

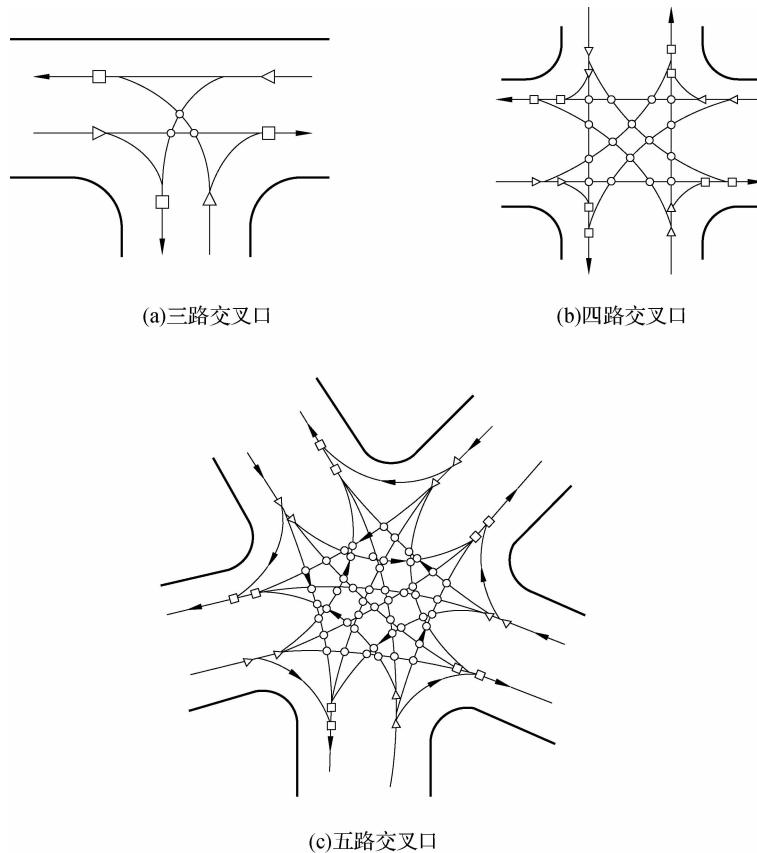


图 2-42 平面交叉口交错点分布情况

○—冲突点;△—分流点;□—合流点

通过分析图 2-42 中的交错点可得出以下结论。

- (1) 直行与直行、左转与左转以及直行与左转车辆之间所产生的冲突点,对交通的干扰和行车的安全影响最大,合流点其次,分流点相对最小。
- (2) 交叉口交错点的多少,因交叉口相交路线的条数和形式而异,且随相交路线的数量的增加而显著增加。
- (3) 产生冲突点最多的是左转弯车辆。例如,四路交叉口若没有左转车流,则冲突点可由 16 个减至 4 个,而五路交叉口可从 50 个减至 5 个。因此,在交叉口设计中如何正确地处理和组织左转弯车辆,是保证交叉口交通通畅和行车安全的关键。



### 3. 交叉口的平面布置和适用范围

平面交叉按几何形状可分为十字形、T形及其演变而来的X形、Y形、错位、环路等交叉形式,如图 2-43 所示。

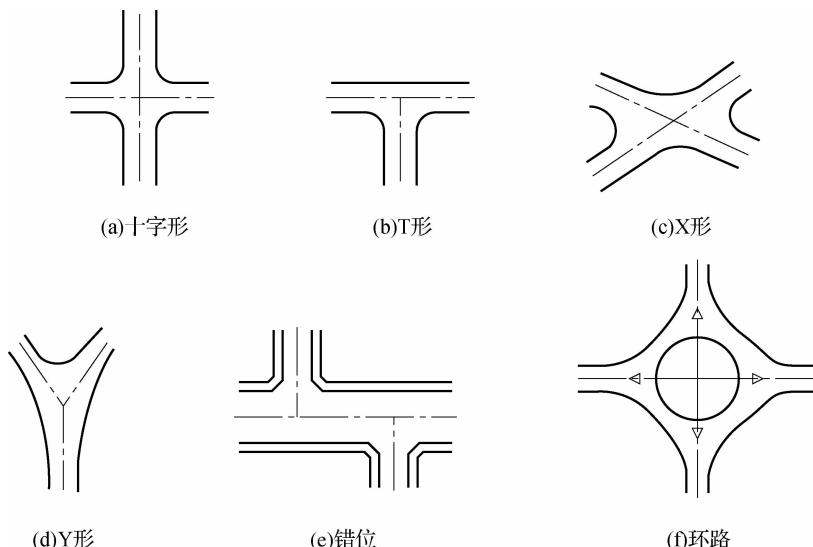


图 2-43 平面交叉的形式

平面交叉按布置形式一般可分为加铺转角式、分道转弯式、加宽路口式和环形交叉四类。

#### 1) 加铺转角式

以圆曲线构成加宽来连接交叉公路的路基和路面的形式称为加铺转角。

此类交叉口形式简单、占地少、造价低、设计方便,但行车速度低、通行能力小,适用于交通量小、车速低、转弯车辆少的三、四级公路或地方道路。若斜交不大时,也可用于转弯交通量较小的主要道路与次要道路交叉。

#### 2) 分道转弯式

利用在路面上画线,设置分隔器、分隔带或交通岛等措施,限制行车路线,使不同类型、车速和行驶方向的车辆沿着指定方向通过交叉口,这种形式叫分道转弯式交叉,如图 2-44 所示。分道转弯式交叉口转弯车辆,尤其是右转弯车辆的行驶速度和通行能力都较高,适用于车速较高、转弯车辆较多的一般道路,或斜交、畸形交叉口。

《公路路线设计规范》规定,四车道以上的多车道公路的平面交叉、二级公路的平面交叉、三级公路的平面交叉(当转弯交通量较大时),均应进行渠化设计。

若渠化设计中采用交通岛,则交通岛的面积不宜过小。一般三角形岛的任意一边长度不小于 2.5 m;长条形分隔岛的宽度不小于 1.2 m,长度为 4~6 m。交通岛上可以绿化,但不宜种植影响驾驶员视线的植物。

#### 3) 加宽路口式

由于交通量大,为避免转弯车辆阻塞直行车辆和其他交叉道路的车辆,可以采取路口增设转弯车道、变速车道或附加车道等措施。这种交叉可以单独增设右转或左转车道,也可以





同时增设左、右转弯车道,如图 2-45 所示。

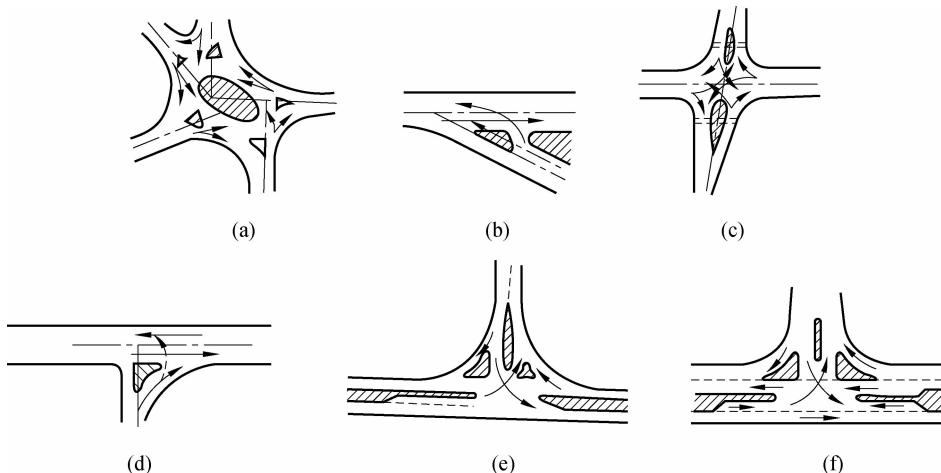


图 2-44 分道转弯式交叉

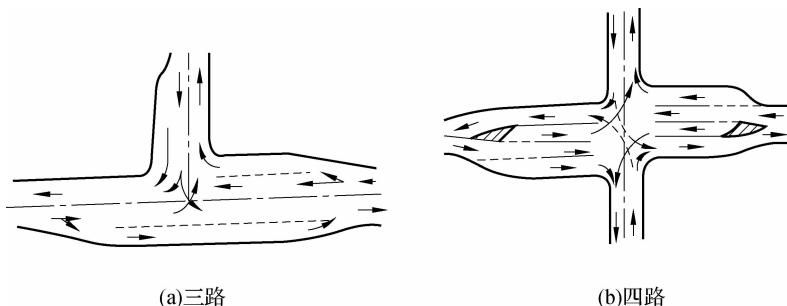


图 2-45 加宽路口式交叉

加宽路口式交叉为左右转弯及直行车辆各准备一条车道,这可减少转弯交通对直行交通的干扰。此类交叉的优点是车速较高、事故率低、通行能力大,缺点是占地多、投资较大,因此适用于交通量较大、转弯车辆较多的二级公路和城市主干路。

#### 4) 环形平面交叉

环形平面交叉(俗称“转盘”)是在交叉口的中心设置一个中心岛,使各类车辆按逆时针方向环岛进行单向行驶,直至所要去的路口,如图 2-46 所示。环式交叉的优点是能消除冲突点,不需设专人指挥交通;缺点是占地较多,直行车、左转弯车绕行的距离较长。因此,这种环形交叉适用于多条公路相交,通过交叉口的总交通量达 500~3 000 辆/小时,转向车辆较多,地形开阔且较为平坦的路口。

中心岛的形状一般多用圆形,有时也用圆角方形和菱形;主次道路相交时宜采用椭圆形;交角不等的畸形交叉可采用复合曲线形。

中心岛的大小应根据交织段需要的长度而定。所谓交织就是两条车流汇合交换位置后又分离的过程。环道上相邻路口之间应有足够的距离,使进环和出环的车辆均可在合适的机会相互交织连续行驶,该段距离称为交织段长度。中心岛半径必须满足两个路口之间最小交织段长度的要求。



一般环道上设计3~4条车道,每条车道宽3.50~3.75 m。靠近中心岛的一条车道作绕行之用,最靠外侧的一条车道供右转弯之用,中间的1~2车道为交织之用。

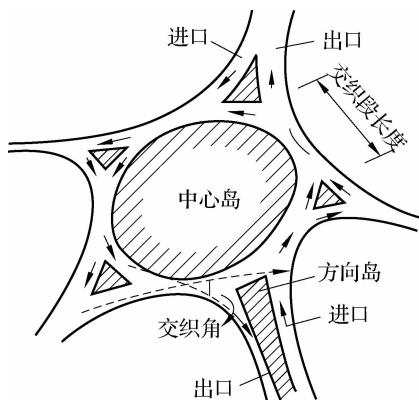


图 2-46 环形平面交叉

#### 4. 交叉口的视距

为了保证交叉口的行车安全,驾驶员在进入交叉口前的一段距离内,应能看到相交道路上的行车情况,以便能及时采取措施顺利驶过或安全停车。这段必要的距离应该大于或等于停车视距。如图 2-47 所示,由相交道路上的停车视距所构成的三角形称为视距三角形,在其范围内不能有任何阻挡驾驶员视线的障碍物。

视距三角形应以最不利的情况来绘制。绘制的方法和步骤如下。

(1) 确定停车视距  $S_T$ 。

(2) 找出行车最危险的冲突点。不同形式交叉口的最危险冲突点的找法不尽相同。对十字形交叉口,最靠右侧的第一条直行机动车道的轴线,与相交道路最靠中心线的第一条直行车道的轴线所构成的交叉点为最危险的冲突点,如图 2-47(a)所示。对 T 形(或 Y 形)交叉口,直行道路最靠右侧的第一条直行机动车道的轴线,与相交道路最靠中心线的一条左转车道的轴线所构成的交叉点为最危险的冲突点,如图 2-47(b)所示。

(3) 从最危险的冲突点向后,沿行车轨迹线各量取停车视距。

(4) 连接末端构成视距三角形。

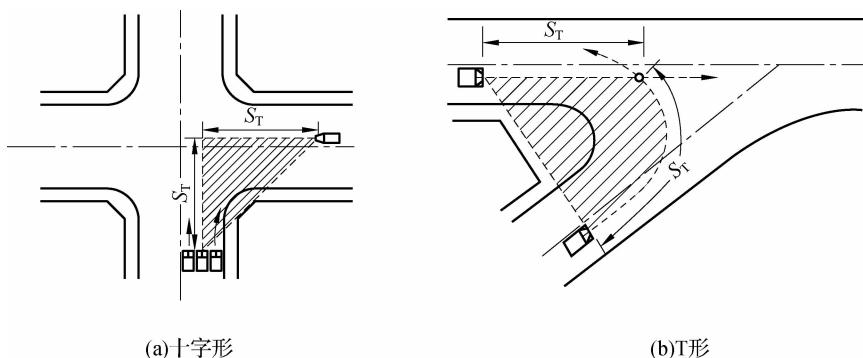


图 2-47 视距三角形



## 5. 交叉口立面设计

交叉口立面设计(也称竖向设计)的目的是通过调整交叉口范围的行车道、人行道及附近地面等有关各点的设计标高,合理确定各相交道路之间,以及交叉口和周围建筑物之间共同面的形状,以符合行车舒适、排水迅速和建筑艺术美观三方面要求。

### 1) 交叉口立面设计的要求

设计要求包括如下3点。

(1)使相交的道路在交叉口内能有一个平顺的共同面,便于车辆和行人通行。

(2)使交叉口范围内的地面水能迅速排除。

(3)使道路各点标高能与建筑物的地面标高相协调而具有良好的空间观感。

### 2) 交叉口立面设计的方法

交叉口立面设计的方法有方格网法、设计等高线法以及方格网设计等高线法三种。

(1) 方格网法。方格网法是在交叉口范围内,以相交道路中心线为坐标基线,打方格网,测出方格点上的地面标高,求出其设计标高,并标出相应的施工高度,如图2-48所示。

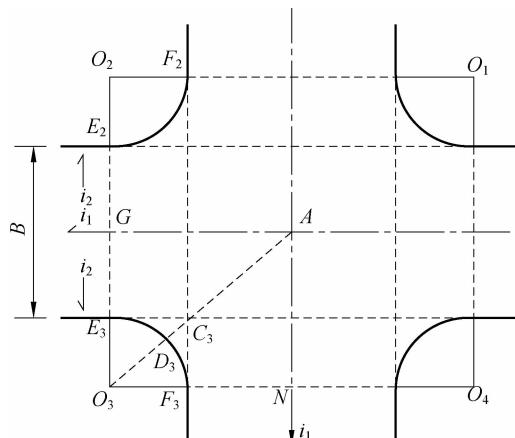


图 2-48 方格网法

(2) 设计等高线法。设计等高线法是先在交叉口范围内选定路脊线和标高计算线网,并计算其上各点的设计标高,然后勾绘交叉口设计等高线,最后标出各点施工高度。

(3) 方格网设计等高线法。在上述两种方法中,设计等高线法比方格网法更能清晰地反映交叉口的立面设计形状,但等高线上的标高点在施工放样时不如方格网法方便。因此常把这两种方法结合使用,称之为方格网设计等高线法,它既能直观地看出交叉口的立面形状,又能满足施工放样的方便性要求。

对于普通交叉口,多采用方格网法或设计等高线法,其中混凝土路面宜采用方格网法,而沥青路面宜采用设计等高线法;对于大型、复杂的交叉口和广场的立面设计,通常采用方格网设计等高线法。实际工作中,若采用方格网法,则不需勾绘设计等高线,而采用设计等高线法时,可不打方格,只加注一些特征点的设计标高即可。下面以方格网设计等高线法为例介绍交叉口立面设计的方法和步骤。



### 3) 方格网设计等高线法设计步骤

(1) 收集资料。收集的资料应包括以下几方面。

① 测量资料。交叉口的控制标高和控制坐标,详细标注附近地坪及建筑物标高的1:500或1:200地形图。

② 道路资料。相交道路的等级、宽度、半径、纵坡、横坡等平、纵、横设计或规划资料。

③ 交通资料。交通量及交通组成。

④ 排水资料。区域排水方式,已建或拟建地下、地上排水管渠的位置和尺寸。

(2) 绘制交叉口平面图。按比例绘出道路中心线、行车道、人行道及分隔带的宽度,转角曲线和交通岛等。以相交道路中心线为坐标基线打方格网。斜交道路的方格网线应选在便于施工放线测量的方向。方格的大小一般采用5×5 m~10×10 m。测方格点的地面标高。

(3) 确定交叉口的设计范围。交叉口的设计范围一般为转角圆曲线的切点以外5~10 m(相当于一个方格的距离),主要用于过渡处理,如横坡的过渡、标高的过渡等。

(4) 确定立面设计图式和等高距。根据相交道路的等级、纵坡方向、地形情况以及排水要求等,确定所采用的立面设计图式。根据纵坡度的大小和精度要求选定等高线间距 $h$ ,一般 $h$ 为0.02~0.10 m,为便于计算取偶数为宜。

(5) 勾绘设计等高线。

① 路段设计等高线的计算与画法。当道路的纵坡、横断面形式及路拱横坡度确定以后,可按照所需要的等高距计算路段上设计等高线的水平距离,进而勾绘出路段设计等高线。抛物线形的路拱,等高线应以曲线勾绘;直线形的路拱,等高线可用折线勾绘,如图2-49所示。

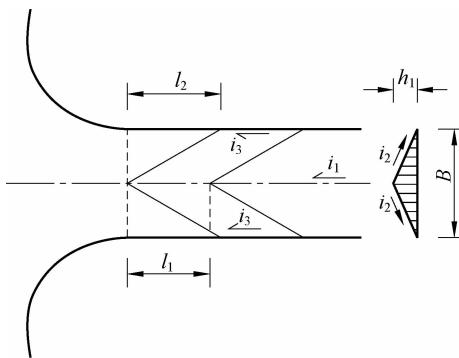


图 2-49 路段设计等高线画法

② 交叉口上设计等高线的计算。在交叉口上,路脊线的交点就是控制标高的位置。选定路脊线时,要考虑行车平顺及整个交叉口的均衡美观。为反映交叉口的立面形状,需正确选择标高计算线网并确定计算线上标高点的数目。每条标高计算线上标高点的数目,可根据路面宽度、施工需要以及等高距来确定。对路宽、坡陡、施工精度要求高的,标高点可多些;反之则少些。

③ 勾绘和调整等高线。根据所选立面设计图式和等高距,把各等高点连接起来,得到初步的设计等高线图。该设计等高线图应满足行车平顺和路面排水通畅的要求。通过调整等高线的疏密(一般中间部分疏一些,而边沟处密一些)使纵、横坡度变化均匀。同时,调整个





别不合适的标高，并合理布置雨水口。

(6) 计算施工高度。根据设计等高线图，用内插法求出方格点上的设计标高，则施工高度就等于设计标高减去地面标高。图 2-50 所示为一交叉口的立面设计图。

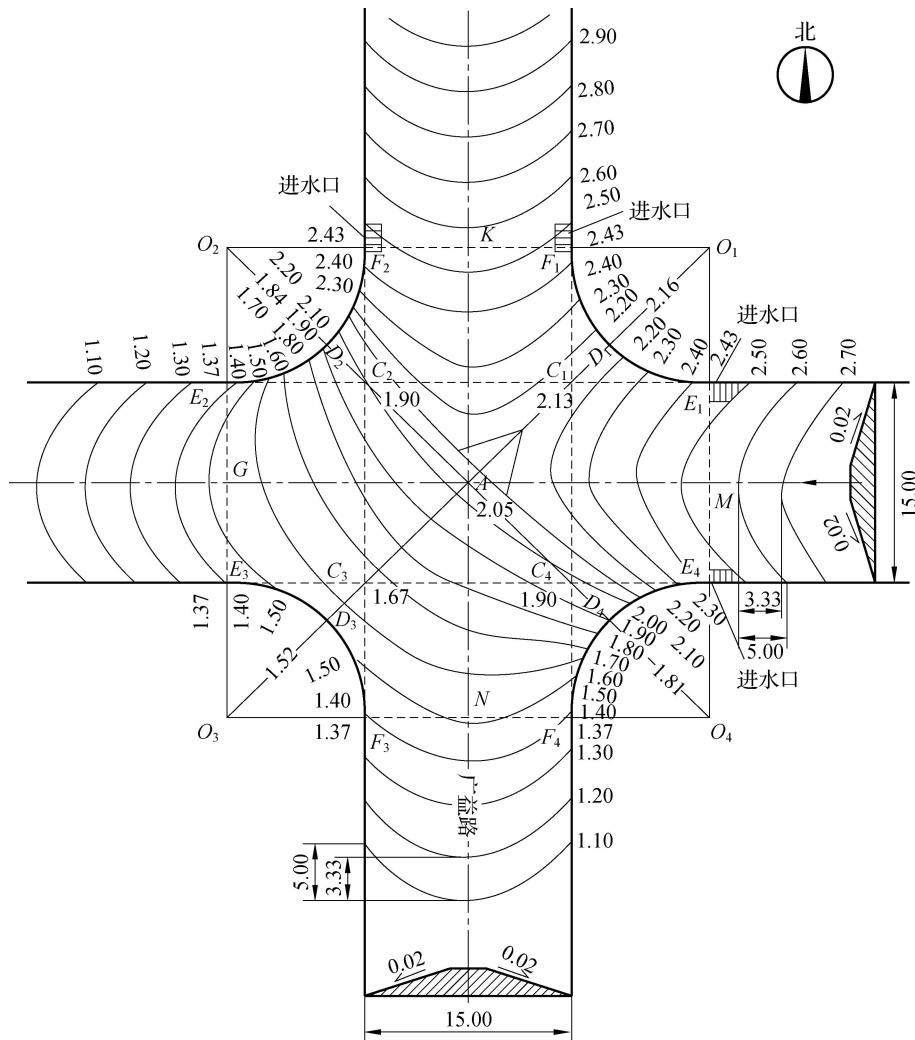


图 2-50 交叉口立面设计图示例

## 6. 平面交叉口设计成果

### 1) 平面布置图

平面布置图比例一般采用 1:1000~1:500。图中不仅应标明路中心线、路面边缘线、缘石边线，还应标明交叉点、各交叉点的起点和终点、交叉加桩与控制断面的位置和桩号，并且应列出各交叉道路的曲线要素、各交叉道路的纵坡值。同时，还应标出各控制断面的宽度、横坡坡度、两侧路面边缘标高和各坡段的纵坡。

### 2) 纵、横断面设计图

横断面设计图可采用 1:200~1:100 的比例，其余要求同一般路线设计。



### 3) 交叉口地形图和立面设计图

除设计图外,还应包括交叉口设计资料一览表、交叉口工程数量计算表等资料。

## 二、公路与公路立体交叉

当高等级公路相交或相关道路交通量过大而平面交叉无法适应时,或是行车速度高、地形条件适合做成立体交叉,从经济上考虑又合理时,均可考虑采用立体交叉。立体交叉是利用跨线构造物使道路与道路(或铁路)在不同标高相互交叉的连接方式,是高等级道路相交必不可少的组成部分。立体交叉的优点是:使各方向车流在不同标高的平面上行驶,消除或减少了冲突点;车流可连续运行,提高了道路的通行能力;节约了运行时间和燃料消耗;控制了相交道路车辆的出入,减少了对高速公路的干扰。

在设置立体交叉时,应遵循《公路工程技术标准》和《公路路线设计规范》中的相关规定。

(1) 高速公路与其他公路相交时,必须采用立体交叉。交叉形式除在控制出入的地方设互通式立体交叉外,均采用分离式立体交叉。互通式立体交叉的形式、设置的间距及加(减)速车道、匝道的设计,应根据有关规定及具体情况确定。

(2) 一级公路同交通量大的其他公路交叉时,宜采用立体交叉。交叉形式可根据具体情况采用互通式或分离式立体交叉。

(3) 其他各级公路间的交叉,当交通条件需要或地形条件合适时,可采用立体交叉。

(4) 立体交叉的建筑限界应满足要求。

### 1. 立体交叉的组成

#### 1) 跨线构造物

跨线构造物是立体交叉实现车流空间分离的主体构造物,包括设于地面上的跨线桥(上跨式)以及设于地面以下的地地道(下穿式)。

#### 2) 正线

正线是组成立体交叉的主体,是指相交道路的直行行车道,主要包括连接跨线构造物两端到地坪标高的引道,和交叉范围内引道以外的直行路段。

#### 3) 匝道

匝道是立体交叉的重要组成部分,是指供上、下相交道路转弯车辆行驶的连接道。匝道与高速公路或相交路线的交点称为匝道的终点。由高速公路驶出,进入匝道的道口称为出口;由匝道驶出,进入高速公路的道口称为入口,“出”和“入”都是相对高速公路而言的。

匝道有以下的4种基本形式。

(1) 右转弯匝道。右转弯匝道是指直接从主干线右转弯驶出的匝道,如图2-51所示。车辆从右侧驶出后直接右转约90°到相交道路的右侧驶入。右转弯匝道一般不需跨线构造物,形式简单。车辆在匝道上运行安全方便、直捷顺当。

(2) 环形匝道。环形匝道又称环圈式匝道。车辆由干线的右侧驶出,并以约270°向右转弯而完成左转弯的行驶,如图2-52所示。环形匝道的优点是右出右进、行车安全,不需设构造物、造价最低。但匝道线形指标差,占地较大,车速和通行能力低,左转绕行较长。在苜蓿叶式、喇叭式、叶式等立体交叉中都采用这种左转形式的匝道。



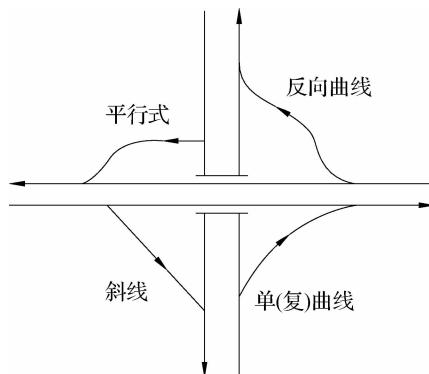


图 2-51 右转弯匝道

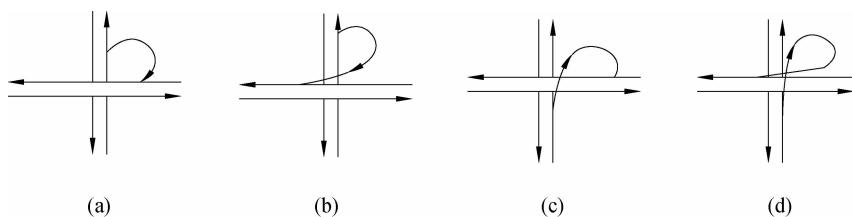


图 2-52 环形匝道

(3)定向式匝道。在定向式匝道上,车辆由干线左侧驶出,以较短捷的路线从左侧直接驶入连接的干线,从而完成左转弯,如图 2-53 所示。定向式匝道是唯一由干线驶出的匝道形式,这种形式需增建立体交叉桥,投资大,但车辆行驶便利、快速,因此在高速公路立体交叉中应用较多。须注意的是,车辆通过定向式匝道高速驶入目标干线,交织合流时有一定的危险性;相交道路的双向行车之间需有足够间距;重型车和慢速车左侧高速驶出困难,左侧高速驶入困难且不安全。

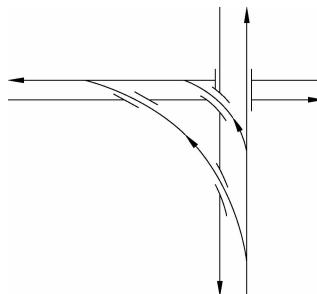


图 2-53 定向式匝道(左出左进式)

(4)迂回式匝道。在迂回式匝道上,车辆由干线右侧出口,暂时偏离所去方向,以迂回绕行的方式完成左转弯,如图 2-54 所示。迂回式匝道在一定程度上消除了定向式左出、左进的缺点,行车安全;右侧入口车流并入形式较好,对干线高速车辆影响小,但匝道绕行长,方向欠明确。

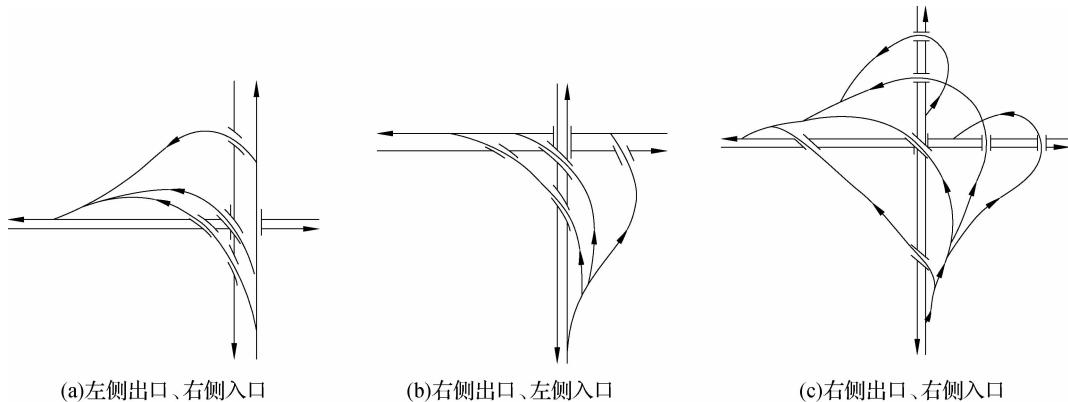


图 2-54 迂回式匝道

#### 4) 出、入口

由正线驶出进入匝道的道口为出口,由匝道驶入正线的道口为入口。

#### 5) 变速车道

为满足车辆变速行驶的需要,而在正线右侧的出入口附近设置的附加车道称为变速车道。其中,出口端为减速车道,入口端为加速车道。其典型形式有平行式和直接式两种,如图 2-55 所示。

(1) 平行式。平行式是在正线外侧平行增设的一条附加车道。其特点是车道划分明确,行车容易辨认,与直接式相比强调减速车道的起点。

在平行式中,车辆行驶的轨迹虽然与三角段部分相符合,但在通过整个减速车道时必须走 S 形路线。根据调查,一般情况下驾驶员驶出主线时大多数愿意采用直接式的流出,而不愿走 S 形路线。这说明平行式与实际行驶状态是不相符合的。

原则上加速车道采用平行式,这是因为加速车道较长,平行式容易布置。平行式变速车道端部应设渐变段与正线连接。

(2) 直接式。直接式是指不设平行路段,由正线斜向渐变加宽,形成一条与匝道连接的附加车道。其特点是线形平顺并与行车轨迹吻合,对行车有利,但起点不易识别。

原则上减速车道采用直接式,另外加速车道较短或双车道的变速车道应采用直接式。

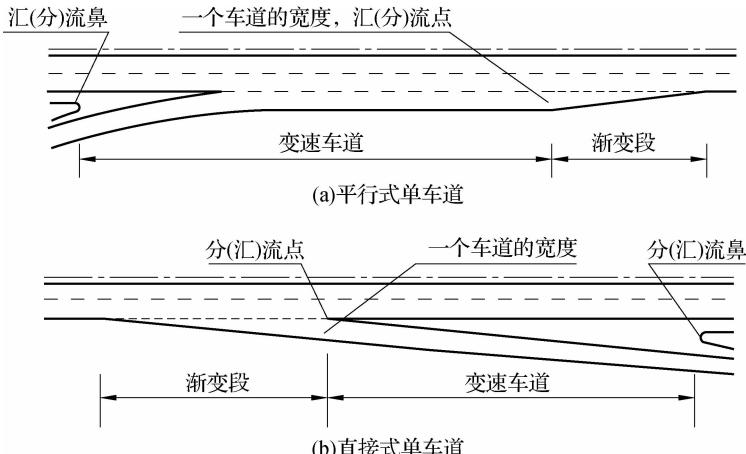


图 2-55 变速车道的形式



## 2. 立体交叉的类型和适用条件

### 1) 按结构物形式分类

立体交叉按相交道路结构物形式划分为上跨式和下穿式(隧道式)两类。

(1) 上跨式:用跨线桥从相交道路上方跨过的交叉方式。这种立交施工方便、造价低、排水易处理,但占地大、引道较长,高架桥影响行车视线和路容,多用于市区以外或周围有高大建筑物处。

(2) 下穿式:也称隧道式,即用地道(或隧道)从相交道路下方穿过的交叉方式。这种立交占地少,立面易处理,对视线及市容影响小,但施工复杂、造价高、排水困难,多用于市区。

### 2) 按交通功能分类

立体交叉按交通功能划分为分离式立体交叉和互通式立体交叉两类。

(1) 分离式立体交叉。分离式立体交叉是指采用上跨或下穿方式相交的立体交叉。车辆只能直行通过交叉口,不能互相转道。分离式立体交叉仅设跨线构造物一座,使相交道路空间分离,上、下道路无匝道连接,如图 2-56 所示。这类立体交叉结构简单、占地少、造价低,但相交道路的车辆不能转弯行驶,适用于高速公路与铁路或次要公路之间的交叉。

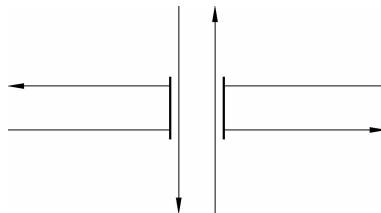


图 2-56 分离式立体交叉

(2) 互通式立体交叉。互通式立体交叉不仅设跨线构造物使相交道路空间分离,而且上、下道路有匝道连接,以供转弯车辆行驶。这种立体交叉车辆可转弯行驶,全部或部分消灭了冲突点,各方向行车干扰较小;但结构复杂、占地多、造价高,如图 2-57 所示。

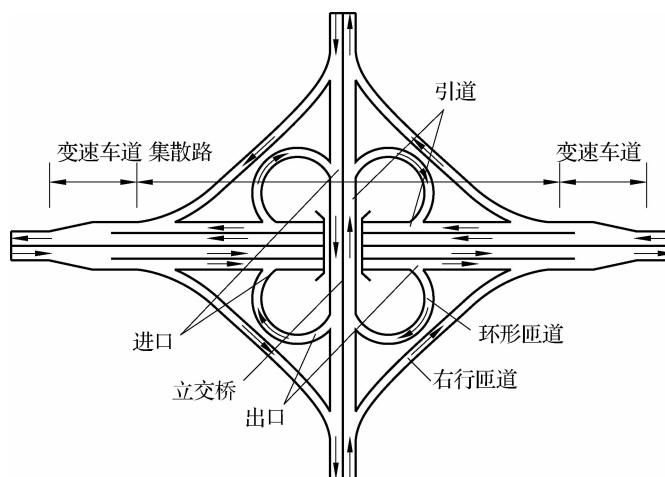


图 2-57 互通式立体交叉

互通式立体交叉的类型较多,基本类型有如下几个。



①喇叭形。喇叭形立体交叉是三路立体交叉的代表形式,可分为A式和B式,如图2-58(a)、(b)所示。经环圈式左转匝道驶入主线(或正线)为A式,驶出为B式。喇叭形立体交叉的特点是结构简单,只需一座构造物,投资较省;所有匝道均自右侧接入干道的行车道,无冲突点和交织,通行能力大、行车安全;造型美观,行车方向容易辨别。喇叭形一般用于主要干线公路与次要公路相交。双喇叭互通式立体交叉适用于设有收费站的一般互通式立体交叉,如图2-58(c)所示。

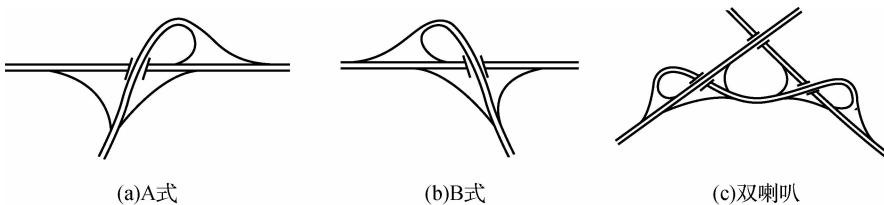


图 2-58 喇叭形立交

②Y形立交。Y形立交如图2-59所示,其特点是正线与立交匝道作为一体设计,行驶方向最易识别;无交织,无冲突点,行车安全;方向明确、路径短捷、通行能力大;正线外侧占地宽度较小;但需要构造物多,造价较高。

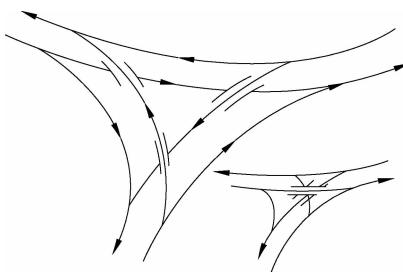


图 2-59 Y形立交

③部分苜蓿叶形立体交叉。当主要道路与次要道路相交或用地受到限制时,可减少匝道数而采用部分苜蓿叶形立体交叉,如图2-60所示。部分苜蓿叶形立体交叉仅需一座跨线桥,用地和工程费用较小;远期可扩建为全苜蓿叶式立体交叉。但次线上存在平面交叉,有停车等待和错路运行可能;在匝道上发生交织车流或对向车流,左转的车辆须环绕匝道从左侧驶入主要车流,这些情况都会影响行车安全和行车速度。所以部分苜蓿叶形立体交叉只有在交通量小、可分期改建为苜蓿叶形立体交叉时才可采用,它可保证主要道路直行交通的畅通,适用于主要道路与次要道路相交的交叉口。

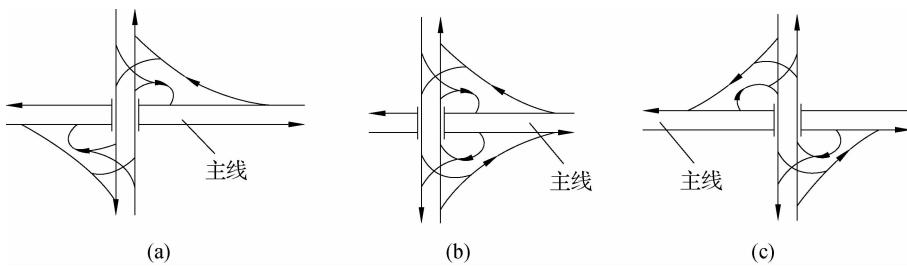


图 2-60 部分苜蓿叶式立体交叉



④苜蓿叶形立体交叉。两条主要道路相交时可采用苜蓿叶形立体交叉,如图 2-61 所示,它是在中央部分修建跨线桥,用 8 条单向交通的匝道来连接两条相交道路,直行、左右转弯的车流各有其独立的车道,可连续行驶,各向车流互不干扰,行车安全。但这种立体交叉占地面积大,左转绕行距离较长,环形匝道适应车速较低,且桥上、桥下存在交织。苜蓿叶形立体交叉多用于高速公路之间,而在城市内因受用地限制很难被采用;但因其形式美观,如果加之适当地绿化,用于在城市外围的环路也是比较合适的。该立体交叉在布设时,为消除主线上的交织,避免双重出口,使标志简化以及提高立体交叉的通行能力和行车安全,可加设集散车道。

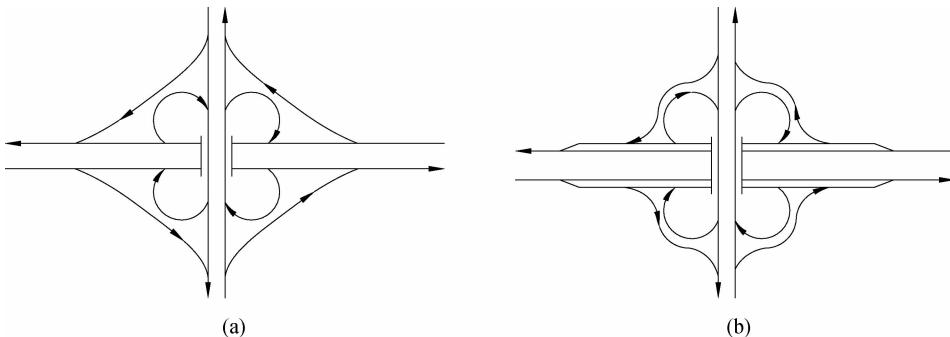


图 2-61 苜蓿叶形立体交叉

⑤菱形立体交叉。干线公路与次要公路相交时可采用菱形立体交叉,如图 2-62 所示。同其他形式相比,菱形式立体交叉能保证主线直行车辆快速通畅;转弯车辆绕行距离较短;用地少、造价低;干线公路的行驶方向只有一个出口,易于驾驶员识别;匝道近似直线,平面线形好。但由于匝道与次要公路连接处系平面交叉,干扰大,限制了匝道与次要公路的通过能力,因此,布设时应将平面交叉设在次线上。

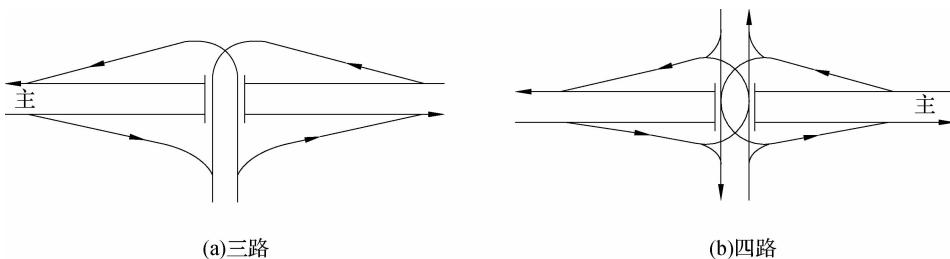


图 2-62 菱形立体交叉

⑥定向式立体交叉。在定向式立体交叉中,直行、右行和左转的车辆,均沿着比较顺捷方向的行车道和专用单向匝道行驶,所有相交道路均立体交叉,如图 2-63 所示。定向式立体交叉的优点是:各方向运行都有专用匝道,自由流畅,转向明确;无冲突点、无交织,通行能力大;适应车速高。而其缺点是:占地面积大、层多桥长、造价高,在城内很难实现。定向式立交适用于高速公路与高速公路相交,且左转车流特别大的交叉口。

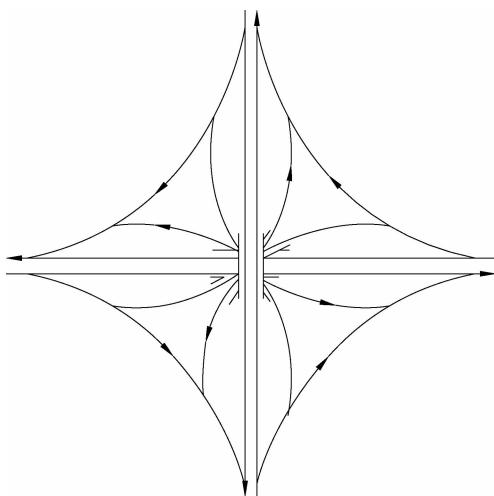


图 2-63 定向式立体交叉

⑦环形立体交叉。环形立体交叉是由环形平面交叉加主干道的上跨或下穿构造物所构成,如图 2-64 所示。该类立交能保证干道上的车流连续行驶,转向车流沿着环岛逆时针交织行驶,但环道上的通行能力与行车速度受交织断面的限制。环形立体交叉占地面积小,可分期修建,当交通量增大后可将另一条干道直行车辆通过上跨或下穿分离出去。

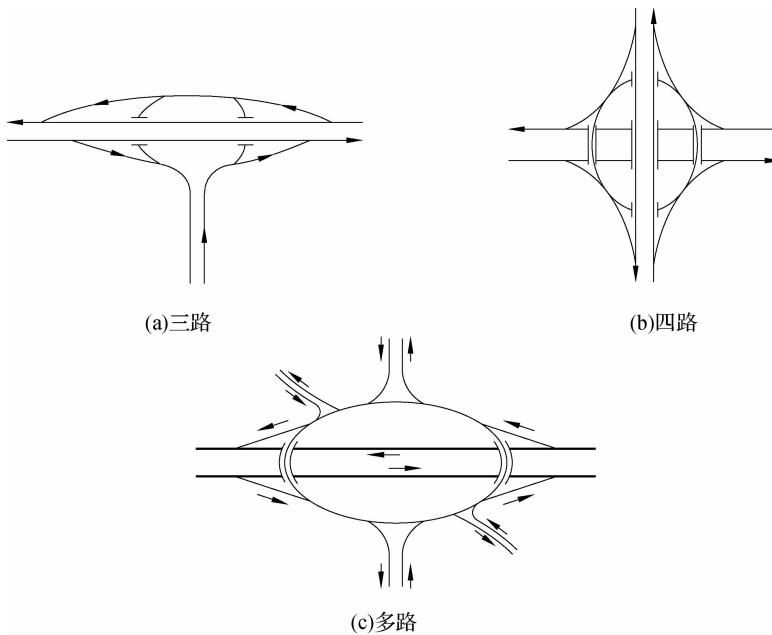


图 2-64 环形立体交叉

### 3. 公路立体交叉设计成果

按实际需要,公路立体交叉在综合评定和精心设计的基础上,一般提供以下几方面成果。

- (1) 远景交通量计算表及交通量分布图,如图 2-65 所示。





(2) 立体交叉线位图。包括立交主线及匝道分布,各线路的里程桩号及曲线要素,各匝道线位坐标表,直线、曲线及转角表(同平面设计)。

(3) 立体交叉的纵横断面图。比例尺和要求与平面交叉相同,格式同路线设计的纵、横面图。

(4) 跨线桥设计图。其要求与一般桥梁相同。

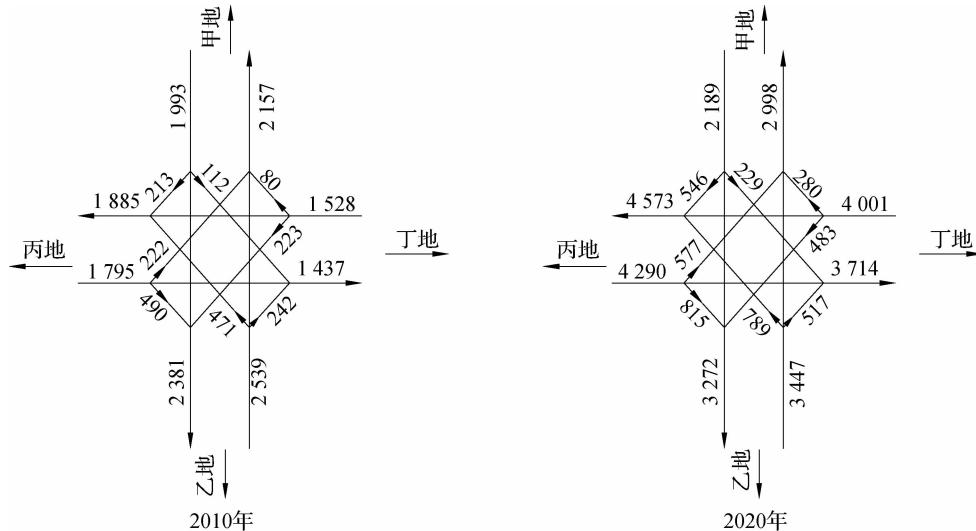


图 2-65 立体交叉交通量分布图(单位:辆/天)

(5) 如遇有挡土墙、窨井、排水管、排水泵站等其他构造物时,均需附设计图。

(6) 有比较方案时,应绘制图并提供经济技术比较表等资料。

(7) 交叉口的工程量等资料。

(8) 立体交叉透视图及景观设计图(参见有关参考书)。



## 思考与练习

### 一、名词解释

极限最小半径 横向力系数 缓和曲线 纵坡 坡长 合成坡度 平包竖  
基本型曲线 超高 超高渐变率 经济运距 行车视距 视距三角形

### 二、简答题

- 公路的最小半径有哪几种?平面线形设计中如何选用?
- 缓和曲线的作用是什么?
- 公路纵坡设计的原则有哪些?
- 简述纵断面设计步骤。
- 纵断面线形与平面线形组合设计的原则有哪些?
- 公路横断面的组成部分有哪些?
- 简述超高的过渡方式。
- 简述加宽的过渡方式。



9. 路拱的形式有哪些？各有什么特点？
10. 简述利用图解法绘制视距包络曲线，确定障碍物清除范围的步骤。
11. 简述路基土石方计算表调配法的步骤。
12. 平面交叉的布置形式有哪些？各有什么特点？
13. 简述视距三角形绘制的方法和步骤。
14. 互通式立交和分离式立交的特点分别是什么？



## 学习情境三 路基工程认知



### 学习目标

- 掌握路基的基本要求。
- 掌握公路自然区划的划分和各分区施工特点。
- 掌握路基土的干湿类型及其划分方法。
- 理解路基应力分布特点、土基应力-应变特性，掌握路基工作区和回弹模量概念。
- 掌握路基横断面形式特点。
- 掌握路基宽度、高度和边坡坡度的概念及设计要求。
- 掌握路基地面的结构构造、适用范围、施工操作要点。
- 掌握地下排水设施的用途、布设位置、结构构造、适用范围、施工操作要点。
- 掌握路基防护设施的基本构造特点、适用情况。
- 掌握挡土墙的分类、各类挡土墙的构造特点。
- 了解常见的路基附属设施的构造、用途。

### 课题一 路基工程概述

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物，是路面的基础，承受着自然因素的作用力和由路面传递下来的行车荷载。在公路建设中，路基工程的主要特点是工艺较简单、工程数量大、耗费劳力多、涉及面较广、耗资较多。相关资料表明，一般公路的路基修建投资占公路总投资的 25%~45%，个别山区公路可达 65%。路基施工改变了沿线原有的自然状态。挖填及借弃土石方涉及当地生态平衡、水土保持和农田水利。

路基稳定与否，对路面工程的质量影响很大，关系到公路的正常投入使用。实践证明，没有坚固稳定的路基，就没有稳固的路面。因此，路基工程的设计、施工与养护是不容忽视的。



## 一、路基的基本要求

路基铺设在地面上,它的稳定受地形、地质、水文和气候等的影响极大,如果设计和施工不当,会产生各种病害,导致路基路面遭受破坏,严重影响交通和行车安全,而修复时要耗费更多的人力和物力,故路基应满足以下3方面的基本要求。

### 1. 具有足够的强度和刚度

行驶在路面上的车辆,通过车轮把荷载传给路面,再由路面传给路基,在路基结构内部产生应力、应变及位移。如果路基的强度和抗变形能力不足以抵抗这些应力、应变及位移,则将产生断裂、沉陷、波浪或车辙等病害,导致路况恶化。

路基应具有足够的强度以抵抗车轮荷载引起的各个部位的各种应力,从而保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。同时路基应具有足够的刚度,使其在车轮荷载作用下不发生过量的变形,保证不产生车辙、沉陷或波浪等各种病害。

### 2. 具有足够的水温稳定性

路基每时每刻都要受到大气温度、降水与湿度变化的影响,填料的物理力学性质也将随之发生变化,处于不稳定的状态。这就要求修筑的路基在这些变化条件下,能保持工程设计所要求的几何形态及物理力学性质。例如,在雨季,路基含水量大大增加,其强度必然下降,但下降后的强度仍应达到设计所要求的强度。为此,应从多方面采取措施,如加强排水、正确选择填料等来避免或减小雨水对路基的影响,以减小路基强度变化的幅度,即使路基强度的变化能稳定在要求的范围之内。

气温周期性的变化对路基稳定性的影响也很大。例如,北方冰冻地区,在低温冰冻季节,路基中的水将结冰产生体积膨胀,此时,结冰的路基土强度很高;但到了春融季节,气温上升,冰将溶化为水,此时,路基内部空隙增加并被溶化的冰水所充斥,强度下降,在行车作用下将导致“冻胀翻浆”的产生,使路基遭到严重破坏。

### 3. 具有足够的整体稳定性

路基修建后,原地面的天然平衡状态将会被改变。在工程地质不良的地区,修建路基可能加剧原地面的不平衡状态,从而导致路基发生种种破坏。因此,为了防止路基结构在行车荷载及自然因素作用下发生过量的变形或破坏,必须因地制宜地采取一定的措施来保证路基整体结构的稳定性。

## 二、公路自然区划

我国各地气候、地形、地貌、水文地质等自然条件相差很大,而这些自然条件与公路建设密切相关。为区分不同地区地理区域自然条件对公路工程影响的差异性,并在路基、路面的设计、施工和养护中采取适当的技术措施和采用合适的设计参数,以保证路基、路面的强度和稳定性,特制定公路自然区划。

### 1. 公路自然区划的制定原则

#### 1) 道路工程特征相似的原则

在同一区划内,在同样的自然因素下筑路具有相似性。例如,北方不利季节主要是春融时期,路基有翻浆病害;南方不利季节是雨季,路基有冲刷、水毁等病害。





### 2) 地表气候区划差异性的原则

地表气候是地带性差异与非地带性差异的综合结果。通常,地表气候随着当地纬度而变,称为地带性差异,例如,在北半球,北方寒冷,南方温暖。除此之外,还与高程的变化有关,即沿垂直方向的变化,称为非地带性差异,例如,在青藏高原地区,由于海拔高,与纬度相同的其他地区相比,气候更加寒冷。

### 3) 自然气候因素既有综合又有主导作用的原则

自然气候的变化是各种因素综合作用的结果,但其中又有某种因素起着主导作用。例如,道路冻害是水和热综合作用的结果。但是在南方,只有水而没有寒冷气候的影响,不会有冻害,说明温度起主要作用;西北干旱区与东北潮湿区,同样都有负温度,但前者冻害轻于后者,说明水起主导作用。

## 2. 公路自然区划的等级

根据公路工程的地理、气候差异特点,公路自然区划,按其重要性和规模的大小分为3个等级。一级区划首先将全国划分为多年冻土、季节冻土和全年不冻三大地带,再根据水热平衡和地理位置,划分为冻土、湿润、干湿过渡、湿热、潮暖、干旱和高寒7个大区。二级区划是在一级区划的基础上以潮湿系数为主进一步划分。三级区划是在二级区划内划分更低一级的区域或类型单元。

### 1) 一级区划

根据不同地理、气候、构造、地貌界限的交错和叠合,我国可分为7个一级区划,这7个一级自然区划的路面结构特点各有不同,根据各区经验可大致归纳如下。

(1) 北部多年冻土区(I区)。该区北部为连续分布多年冻土,南部为岛状分布多年冻土。对于泥沼地的多年冻土层,最重要的道路设计原则是保温,不可轻易挖去覆盖层,使路堤下保持冻结状态。若冻土受大气热量影响而融化,将后患无穷。对于非多年冻土层的处理方法则不同,需将泥炭层全部或局部挖去,排干水分,然后填筑路堤。I区主要是林区道路,路面结构为中级路面。该类林区山地道路因表土湿度大,地表径流大,最易翻浆,应采取换土、稳定土、砂垫层等处理方法。

(2) 东部温润季冻区(II区)。该区路面结构突出的问题是翻浆和冻胀。翻浆的轻重程度取决于路基的潮湿状态,可根据不同的路基潮湿状态采取措施。II区缺乏砂石材料,故多采用稳定土基层。

(3) 黄土高原干湿过渡区(III区)。黄土对水分的敏感性,干燥土基强度高、稳定性好;在河谷盆地的潮湿路段以及灌区耕地,土基稳定性差、强度低,因此必须认真处理。

(4) 东南湿热区(IV区)。该区雨量充沛集中,雨量季节性强,台风暴雨多,水毁、冲刷、滑坡是道路的主要病害,故路面结构应结合排水系统进行设计。IV区水稻田多,土基湿软,强度低,必须认真处理。此外,由于气温高、热季长,要注意黑色面层材料的热稳定性和防透水性。

(5) 西南潮暖区(V区)。该区山多,筑路材料丰富,应充分利用当地材料筑路。对于水文不良路段,必须采取措施稳定路基。

(6) 西北干旱区(VI区)。该区大部分地下水位很低,虽然冻深多在100 cm以上甚至在150 cm以上,但一般道路冻害较轻。个别地区,如河套灌区、内蒙古草原洼地,地下水位高,翻浆严重。VI区的丘陵区1.5 m以上的深路堑冬季积雪厚,雪水浸入路面会造成危害,所以



沥青面层材料应具有良好的防透水性,路肩也应做防水处理。由于气候干燥,VI区砂石路面经常出现松散、搓板和波浪现象。

(7)青藏高寒区(VII区)。由于该区地处高原,气候寒冷,昼夜气温相差很大,日照时间长,沥青老化很快,加之年平均气温相对偏低,因此路面易因冬季雪水渗入而遭到破坏。此外,该区局部路段有多年冻土,须按保温原则设计。

## 2)二级区划

二级区划是以气候和地形为主导因素,以潮湿系数K为主的一个标志体系。潮湿系数K值为年降水量与年蒸发量之比。根据二级区划的主导因素与标志,在全国7个一级自然区划内又分为33个二级区划和19个副区(亚区)划,共有52个二级自然区划,见表3-1。

表3-1 公路自然区划名称

代号	一级区划	二级区划(包括副区)
I	北部多年冻土区	I <sub>1</sub> 连续多年冻土区 I <sub>2</sub> 岛状多年冻土区
II	东部温润季冻区	II <sub>1</sub> 东北东部山地润湿冻区 II <sub>1a</sub> 三江平原副区 II <sub>2</sub> 东北中部山前平原重冻区 II <sub>2a</sub> 辽河平原冻融交替副区 II <sub>3</sub> 东北西部润干冻区 II <sub>4</sub> 海滦中冻区 II <sub>4a</sub> 冀北山地副区 II <sub>4b</sub> 旅大丘陵副区 II <sub>5</sub> 鲁豫轻冻区 II <sub>5a</sub> 山东丘陵副区
III	黄土高原干湿过渡区	III <sub>1</sub> 山西山地、盆地中冻区 III <sub>1a</sub> 雁北张宣副区 III <sub>2</sub> 陕北典型黄土高原中冻区 III <sub>2a</sub> 榆林副区 III <sub>3</sub> 甘东黄土山地区 III <sub>4</sub> 黄渭间山地、盆地轻冻区
IV	东南湿热区	IV <sub>1</sub> 长江下游平原润湿区 IV <sub>1a</sub> 盐城副区 IV <sub>2</sub> 江淮丘陵、山地润湿区 IV <sub>3</sub> 长江中游平原中湿区 IV <sub>4</sub> 浙闽沿海山地中湿区 IV <sub>5</sub> 江南丘陵过湿区 IV <sub>6</sub> 武夷南岭山地过湿区 IV <sub>6a</sub> 武夷副区 IV <sub>7</sub> 华南沿海台风区 IV <sub>7a</sub> 台湾山地副区 IV <sub>7b</sub> 海南岛西部润干副区 IV <sub>7c</sub> 南海诸岛副区





续表

代号	一级区划	二级区划(包括副区)
V	西南潮暖区	V <sub>1</sub> 秦巴山地润湿区 V <sub>2</sub> 四川盆地中湿区 V <sub>2a</sub> 雅安、乐山过湿副区 V <sub>3</sub> 三西、贵州山地过湿区 V <sub>3a</sub> 滇南、桂西润湿副区 V <sub>4</sub> 川、滇、黔高原干湿交替区 V <sub>5</sub> 滇西横断山地区 V <sub>5a</sub> 大理副区
VI	西北干旱区	VI <sub>1</sub> 内蒙古草原中干区 VI <sub>1a</sub> 河套副区 VI <sub>2</sub> 绿洲—荒漠区 VI <sub>3</sub> 阿尔泰山地冻土区 VI <sub>4</sub> 天山—界山山地区 VI <sub>4a</sub> 塔城副区 VI <sub>4b</sub> 伊犁河谷副区
VII	青藏高寒区	VII <sub>1</sub> 祁连—昆仑山地区 VII <sub>2</sub> 柴达木荒漠区 VII <sub>3</sub> 河源山原草甸区 VII <sub>4</sub> 羌塘高原冻土区 VII <sub>5</sub> 川藏高山峡谷区 VII <sub>6</sub> 藏南高山台地区 VII <sub>6a</sub> 拉萨副区

### 3) 三级区划

三级区划是二级区划的进一步划分。三级区划的方法有两种,一种是按照地貌、水温和土质类型将二级区划进一步划分为若干类型单元;另一种是继续以水热、地理和地貌等为标志将二级区划进一步划分为若干更低级区域。各地可根据当地的具体情况选用。

## 三、路基土的干湿类型

路基按其干湿状态可分为干燥、中湿、潮湿和过湿四类。为了保证路基路面结构的稳定性,一般要求路基处于干燥或中湿状态。过湿状态的路基必须处理后方可铺筑路面。

### 1. 根据平均稠度划分

我国现行的《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2006)中规定,路基干湿类型根据实测不利季节路床表面(路槽底面)以下80 cm深度内土的平均稠度 $\omega_c$ ,由表3-2和表3-3确定。干燥、中湿、潮湿和过湿四类干湿类型以稠度 $\omega_{c0}$ 、 $\omega_{c1}$ 、 $\omega_{c2}$ 和 $\omega_{c3}$ 来划分,其中, $\omega_{c0}$ 为干燥状态路基常见下限稠度, $\omega_{c1}$ 、 $\omega_{c2}$ 、 $\omega_{c3}$ 分别为干燥和中湿、中湿和潮湿、潮湿和过湿状态的分界稠度。土的平均稠度 $\omega_c$ 定义为土的含水率 $\omega$ 与土的液限 $\omega_L$ 的差与土的塑限 $\omega_P$ 与液限 $\omega_L$ 差的比值。

$$\omega_c = (\omega_L - \bar{\omega}) / (\omega_L - \omega_P) \quad (3-1)$$

式中, $\omega_c$ 为土的平均稠度; $\omega_L$ 为土的液限; $\bar{\omega}$ 为土的平均含水量; $\omega_P$ 为土的塑限。