

道路工程概论

(工建、矿建专业方向用)

东兆星 编

中国矿业大学建筑工程学院
一九九九年七月

目 录

第一章 总论	1
第一节 道路运输的特点和国内外道路发展概况.....	1
第二节 道路工程的主要组成及基本作用.....	2
第三节 道路的分级与技术标准.....	4
第二章 道路平面设计	7
第一节 概述.....	7
第二节 道路平面线形	11
第三节 道路平面线形设计	23
第四节 行车视距	26
第三章 道路纵断面设计	30
第一节 概述	30
第二节 纵坡设计	30
第三节 竖曲线设计	34
第四节 纵断面设计要点与平纵配合	40
第四章 交叉口设计	47
第一节 概述	47
第二节 平面交叉设计	48
第三节 立体交叉设计	54
第五章 路基设计与施工	66
第一节 概述	66
第二节 一般路基设计	75
第三节 路基施工	89
第六章 路面设计与施工	98
第一节 概述.....	98
第二节 柔性路面设计.....	103
第三节 刚性路面设计.....	113
第四节 路面施工.....	128

第一章 总 论

第一节 道路运输的特点和国内外道路发展概况

一、道路运输的特点

交通运输是国民经济的基础产业,是社会扩大再生产和商品经济发展的先决条件,对促进国民经济持续、快速、健康发展和社会、文化的发展具有重要作用。随着社会主义市场经济体制的逐步建立,沿海、沿江、沿边对外开放的进一步扩大,随着产业结构的调整,农业结构的转变,区域经济的发展,人民生活水平的提高和消费结构的转变,对运输的需求更加旺盛。为适应社会主义市场经济体制的需要,对交通运输提出了更高的要求。

现代交通运输系统是由铁路、道路、水运、航空及管道等五种运输方式组成。这五种运输方式在技术经济上各有特点,各自适应一定的运输要求及自然、地理等条件。它们在国民经济发展计划统筹安排下,合理分工、协调发展、取长补短、相互衔接,形成了完整的综合运输体系。

道路运输在综合运输体系中占有极重要的位置。它具有面的性质,它可以进行“门对门”的直达运输,也可以与其他运输方式相配合起到客货集散、运输衔接等作用。其主要特点有:

1. 适应性强 道路网分布面宽,密度大,其分布区域比铁路、水运要大十几倍,而且它能深入工矿和山村,中转环节少,货运损失也较少。

2. 机动性好 汽车运输可以随时调动、装卸、起运;可以运送少量客货,也可以运送大量客货;可以单独运行,也可以组队运输,这对国防和山区建设有重要意义,特别是在农村经济发展中占有优先的地位。

3. 速度快捷 在中、短途运输中,特别是在高等级道路上运行,比铁路运输更快。随着人民生活水平的提高,旅游事业的发展,客货运输中的中、短途运输增加很快,它可以减少货物积压,加快资金周转,改善经营管理,提高经济效益,特别对高档货物及鲜货等的紧急运输有重要意义。

4. 投资较少 道路建设原始投资较少,车辆购置费也较低,资金周转快,社会效益也较显著。

5. 运输费用较高 与铁路和水运运输相比,道路运输的费用较高,特别在低等级道路上长途运输,车速低,运输成本就较高。此外,汽车行驶中发动机的废气含有害成分,特别在汽车密度大的地区会造成环境污染。

二、国内外道路的发展

建国以来,我国道路事业发展很快,技术上也有很大进步。建国初期,我国只有通车的公路 8.07 万公里,1985 年通车里程达 94 万公里,到 1995 年底就达到 115 万公里,其中高速公路 2 100 公里,一、二级汽车专用公路 1.3 万公里。但同时我们也看到,我国道路建设还严重滞

后,公路数量少,等级低,路况差,混合交通严重,至今还没有一条贯通我国东西或南北的高等级公路,国道网中平均昼夜交通量超过设计能力上限的路段占国道网总里程的一半以上,约三万公里国道主干线交通量超过通过能力一倍以上。因此,“九五”规划将进一步提高公路网的密度和通达深度的同时,还要建设“二纵二横”国道主干线及三条重要路段。二条纵干线是:同江~三亚(含长春~珲春支线)及北京~珠海;二条横干线是:连云港~霍尔果斯及上海~成都(含万县~南充~成都支线);三条重要路段是:北京~沈阳,北京~上海及西南地区出海通道。以上共1.45万公里。到2000年,公路里程将增加到125万公里,其中汽车专用公路翻两番,并将联结我国主要经济区域一百多个省会和中心城市,基本贯通国道主干线,重要港口和陆上主要口岸的干线公路混合交通和拥挤状况将有明显改观。公路质量也有所提高,500车次/日以上等级公路基本实现高级或次高级路面。到2020年计划还要基本建成“五纵七横”国道主干线,除上述的“二纵二横”还有三条纵干线是:北京~福州(含天津~塘沽支线和泰安~淮阴连接线)、二连浩特~河口及重庆~湛江;五条横干线是:绥芬~满州里,丹东~拉萨(含天津~唐山支线),青岛~银川,上海~瑞丽(含宁波~杭州~南京支线)及衡阳~昆明(含南宁~友谊关)。还要建成45个公路主枢纽。我国城市道路发展也很快,北京、上海、天津及广州等大城市已修建了快速干道和各种互通式或分离式立体交叉和高架桥等。

国外的道路发展也很快,70年代以来,国外道路运输进入大发展时期,现在发达国家的公路网体系,包括其中的高速公路网骨架已基本建成。这些国家的道路部门除继续将部分精力放在道路建设上外,已将相当精力放在道路的使用功能与车流安全和行车舒适性上,以及改善道路对周围环境、人文景观影响方面。可以说,发达国家大规模的公路建设时期已经结束或即将结束,已全面进入道路的运营管理阶段,道路网和汽车流已渗透到社会生活各个方面,在社会中产生很大影响。

第二节 道路工程的主要组成及基本作用

按道路所在位置、交通性质及其使用特点,道路可分为:公路、城市道路、厂矿道路、林区道路及乡村道路等。公路是联结城市、农村、厂矿基地和林区的道路。城市道路是城市内道路。厂矿道路是厂矿区内道路,林区道路是林区内道路,它们在技术方面有很多相同之处。下面主要介绍公路和城市道路。

一、公路的主要组成

公路是线形结构物,它包括线形和结构两个组成部分。

1. 线形组成

公路线形是指公路中线的空间几何形状和尺寸。这一空间线形投影到平、纵、横三个方面而分别绘制成反映其形状、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。公路设计中,平、纵、横三方面是相互影响,相互制约,相互配合的,设计时应综合考虑。

平面线形由直线、圆曲线和缓和曲线等基本线形要素组成。纵面线形由直线(直坡段)及竖曲线等基本要素组成。公路线形设计时必须考虑技术经济和美学等的要求。

2. 结构组成

公路结构是承受荷载和自然因素影响的结构物,它包括路基、路面、桥涵、隧道、排水系统、防护工程、特殊构造物及交通服务设施等。不同等级的公路在不同的条件下其组成会有所不

同,如汽车停车场在汽车行驶数量少的公路就不必设置。

路基 是行车部分的基础,它承受路面传递下来的行车荷载,它是由土、石按照路线位置和一定技术要求修筑成的土工带状体。

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的行驶。

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,当水流不大时可修筑用大石块或卵石堆筑的具有透水能力的透水路堤和通过平时无水或水流很小的宽浅河流而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。

排水系统 为了防止地面水及地下水等自然水侵蚀、冲刷路基,确保路基稳定,需设置排水构造物,除上述桥涵外,还有边沟、截水沟、排水沟、跌水、急流槽、盲沟、渗井及渡槽等。这些排水构造物组成综合排水系统,以减轻或消除各种水对道路的伤害。

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。

防护工程 在陡峻山坡或沿河一侧的路基边坡修建的填石边坡、砌石边坡、挡土墙、护脚及护面墙等可加固路基边坡保证路基稳定的构造物。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。沿河路基可设置导流结构物如顺水坝、格坝、丁坝及拦水坝等间接防护工程。

特殊构造物 在山区地形、地质复杂路段,可修建悬出路台、半山桥及防石廊等以保证道路连续和路基稳定的构造物。

交通服务设施 为了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、食宿站及绿化和美化设施等。

二、城市道路的组成

城市道路将城市的主要组成部分如居民区、市中心、工业区、车站、码头及其他部分之间联系起来,形成完整的道路系统,通常其组成如下:

1. 机动车道和非机动车道。
2. 人行道(包括地下人行道及人行天桥)。
3. 交叉口、步行广场、停车场、公共汽车站。
4. 交通安全设施 人行地道、人行天桥、照明设备、护栏、标志、标线等。
5. 排水系统 街沟、雨水口、窨井及雨水管等。
6. 沿街设施 照明灯柱、电杆、邮筒及给水栓等。
7. 地下各种管线 电缆、煤气管及给排水管道等。
8. 绿化带。
9. 大城市还有地下铁道、高架桥等。

道路工程的主体是路线、路基(包括排水系统及防护工程等)和路面三大部分。在道路设计中它们是相互联系、相互影响的。路线设计中要有经济合理的线形,还应充分考虑通过地区的自然与地貌等因素,以保证路基的稳定性。路基设计要求要有足够的强度和稳定性,以保证路

面结构的整体强度和稳定性,保证行车安全和迅速。

第三节 道路的分级与技术标准

一、公路的分级与技术标准

按交通部部颁《公路工程技术标准》(JTJ 01—88),根据交通量及其使用任务、性质分为两类五个等级。

1. 汽车专用路 作为公路网的骨架的干线公路,它分为:

1) 高速公路 具有四个或四个以上车道,设有中央分隔带,全部立体交叉并具有完善的交通安全设施与管理设施、服务设施,全部控制出入,专供汽车分道高速行驶的公路。一般能适应按各种汽车(包括摩托车)折合成小汽车的年平均昼夜交通量为 25 000 辆以上,具有特别重要的政治、经济意义。

2) 一级公路 它与高速公路设施基本相同,只是部分控制出入,一般能适应按各种汽车(包括摩托车)折合成小汽车年平均昼夜交通量为 10 000~25 000 辆,是连接重要的政治、经济中心,通往重点工矿区、港口及机场等专供汽车分道行驶的公路。

3) 二级公路 一般能适应按各种汽车(包括摩托车)折合成中型载重汽车的年平均昼夜交通量为 2 000~7 000 辆,为连接政治、经济中心或大工矿区、港口及机场等专供汽车行驶的公路。

2. 一般公路 一般可作为公路网的干线公路,它分为:

1) 二级公路 一般能适应各种车辆折合成中型载重汽车的年平均昼夜交通量为 2 000~5 000 辆,为连接政治、经济中心或大工矿区、港口及机场等的公路。

2) 三级公路 一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的年平均昼夜交通量为 2 000 辆以下,为沟通县以上城市的公路。

3) 四级公路 一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的年平均昼夜交通量为 200 辆以下,为沟通乡(镇)、村等的公路。

公路等级应根据公路网的规划和远期交通量的发展,从全局出发结合公路的使用任务、性质等综合决定。远景设计年限为:高速公路、一级公路为 20 年;二级公路为 15 年;三级公路为 10 年;四级公路一般为 10 年,也可以根据实际情况适当缩短。

各型汽车的折算标准可参考表 1-1、表 1-2、表 1-3 的规定折算。

高速公路、一级公路大型车换算系数 表 1-1

汽车专用二级公路车辆

公路技术等级 \ 地形	平原微丘	重丘	山岭
	高速公路	1.7	2.5
一级公路	2.0	3.0	

换算系数 表 1-2

车 型	小 汽 车	拖 挂 车
换算系数	0.7	1.7

一般二、三、四级公路车辆换算系数

表 1-3

车 型	小汽车	拖挂车	大、中型农用拖拉机	小型农用拖拉机	畜力车	人力车	自行车
换算系数	0.8	2.0	3.0	1.7	4.0	2.0	0.3

注:①小汽车包括小客车、三轮摩托车、载重 2t 以下的轻型货车、座位在 18 座以下的面包车;

②拖挂车包括全挂车及半挂车、载重 10t 以上的载货车、通道式大客车。

公路的技术标准是法定的技术准则,它是指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。它是在根据汽车行驶性能、数量、荷载等方面的要求和设计、施工及使用的经验基础上,经过调查研究和理论分析制定出来的。各级公路主要技术指标汇总如表 1-4。

各级公路主要技术指标汇总

表 1-4

公路等级	汽车专用公路								一般公路						
	高速公路				一		二		二		三		四		
地形	平原 微丘	重丘	山岭		平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 微丘	平原 微丘	山岭 重丘	
计算行车速度 (km/h)	120	100	80	60	100	60	80	40	80	40	60	30	40	20	
行车道宽度 (m)	2×7.5	2×7.5	2×7.5	2×7.0	2×7.5	2×7.0	8.0	7.5	9.0	7.0	7.0	6.0	3.5		
路基宽度 (m)	一般值	26.0	24.5	23.0	21.5	24.5	21.5	11.0	9.0	12.0	8.5	8.5	7.5	6.5	
	变化值	24.5	23.0	21.5	20.0	23.0	20.0	12.0	—	—	—	—	—	7.0	4.5
极限最小半径 (m)	650	400	250	125	400	125	250	60	250	60	125	30	60	15	
停车视距(m)	210	160	110	75	160	75	110	40	110	40	75	30	40	20	
最大纵坡(%)	3	4	5	5	4	6	5	7	5	7	6	8	6	9	
桥涵设计 车辆荷载	汽车-超 20 级 挂车-120				汽车-超 20 级 挂车-120 汽车-20 级 挂车-100		汽车-20 级 挂车-100		汽车-20 级 挂车-100		汽车-20 级 挂车-100		汽车-10 级 履带-50		

二、城市道路的分类与分级

《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)按城市道路系统的地位、交通功能和对沿线建筑物的服务功能分为四类。

1. 快速路 主要为城市长距离交通服务,其技术要求为:

- 1)至少要有四个车道,中间设中央分车带,有自行车通过时应在两侧加设自行车道。
- 2)进出口采用全控制或部分控制。
- 3)大部分交叉口采用立体交叉,与次干道可采用平面交叉,与支路不能直接相交。过路行人集中点要设置过街人行天桥或地道。

2. 主干路 是城市道路网的骨架,它联系城市各主要分区、港口与车站等。自行车多时可采用机动车和非机动车分流的断面型式。

3. 次干路 它配合主干路组成城市道路网,连接城市各部分和集散交通。它是城市交通干路,兼有服务功能,可设置停车场。

4. 支路 是一个地区内(如居住区)的道路,也是与干路的联系道路,它解决局部地区交通,以服务功能为主。部分支路可用以补充干道网的不足。

城市道路的分类和分级及主要技术指标可参考表 1-5。

表 1-5

项 目 类 别	级 别	计算车速 (km/h)	双向机动 车车道数 (条)	机动车 道宽度 (m)	分隔带 设 置	横断面 采用型式
快速路		60、80	≥ 4	3.75	必须设	双、四幅路
主干路	I	50、60	≥ 4	3.75	应设	单、双、三、四
	II	40、50	3~4	3.75	应设	单、双、三
	III	30、40	2~4	3.5~3.75	可设	单、双、三
次干路	I	40、50	2~4	3.75	可设	单、双、三
	II	30、40	2~4	3.5~3.75	不设	单
	III	20、30	2	3.5	不设	单
支路	I	30、40	2	3.5	不设	单
	II	20、30	2	(3.25~)3.5	不设	单
	III	20	2	(3.0~)3.5	不设	单

注：①各类道路依城市规模、交通量、地形分为 I、II、III 级，大城市采用 I 级，中等城市采用 II 级，小城市采用 III 级；

②设计年限规定：快速路、主干路为 20 年；次干路 15 年；支路为 10~15 年。

第二章 道路平面设计

第一节 概 述

道路平面线形是指道路中线投影到平面的几何形状和尺寸,它包括直线、圆曲线和缓和曲线等各种基本线形。本章叙述直线、圆曲线及缓和曲线的设计原理和设计方法,它们之间的相互关系及其配合,以及行车视距的计算及视距保证等问题。为了使大家对道路设计概况有所了解,本节先介绍道路选线时应考虑的一些主要问题。

在进行道路路线设计时,明确路线上的控制点是非常重要的。首先是交通线上的控制点,如路线起、讫点和路线必须经过的或靠近的城镇或旅游地点等,它们是由路线性质和经济调查及路网规划决定的。这些控制点就形成了路线的总方向。其次是自然条件上的控制点,如越岭线的垭口、跨越大河的桥位、工程量集中地点、需要绕避的滑坡、泥石流、软土、泥沼等严重地质不良地段。还有一些是人为设施提供的控制点和控制高程,如路线通过水库附近处、水田的高程、原有道路和不能拆除建筑的平面位置及高程等。事实上,明确了路线控制点的平面位置及高程,道路线形的空间位置就大体确定了。下面简述道路选线工作及桥头接线设计的要点。

一、平原区选线

平原区指地面起伏变化微小的地区。平原区一般具有较多的农田和耕地,此外在天然河网湖区,还具有湖泊、水塘、河汊多的特点,并分布着较多的建筑设施、居民点及各种管线、道路等。

平原区选线,地形对路线的制约不大,平、纵、横均较易达到较高的技术标准,因此,平面线形应尽可能采用较高的技术指标,尽量避免采用长直线或小偏角,但不应为避免长直线而随意转弯。在避让局部障碍物时要注意线形的连续适顺。

纵面线形应综合考虑桥涵、通道、交叉等构造物的布局,合理确定路基设计高度,以避免纵坡起伏频繁,但也不应过于平缓,从而造成工程量增大及排水不畅。

二、丘陵区选线

丘陵区是介于平原和山岭之间的地形。丘陵区一般具有宽脊岭低、山丘连绵、分水岭较多、垭口不高等特点,因此布线方案较多。

丘陵区布线,要因地制宜,掌握好线形技术指标。通常是微丘地形按平原区掌握,重丘区按山岭区处理。

微丘区路线的布设应注意利用地形协调平、纵线形的组合。既不宜过分迁就微小地形,造成线形不必要的曲折,也不应当过分追求直线,从而造成纵面线形不必要的起伏。

重丘地形起伏较多、高差不太大、横坡不太陡,采用技术指标的活动余地较大。选线时应综合考虑平、纵、横三者的关系,恰当地掌握标准,以提高线形质量。一般应注意以下几点:

1. 路线应充分随地形的变化而设,在注意路线平、纵面线位选择的同时,应注意横向填挖的平衡。横坡较缓地段,可采用半填半挖或填多于挖的路基;横坡较陡的地段,可采用全挖或挖多于填的路基。同时还应注意纵向土、石方平衡,以减少废方和借方。

2. 平、纵、横三个方面应综合考虑,不应该只顾纵坡的平缓,而使平面弯曲,过分降低平面标准;也不应只顾平面直捷、纵坡平缓,而造成高填深挖,工程量过大;或者只顾工程经济、过分迁就地形,而使平、纵面过多地采用极限或接近极限的指标。

3. 冲沟比较发育的地段,高等级道路可考虑采用高路堤、高架桥或隧道等直穿方案,一般等级较低的道路可多采用绕越方案。

三、山岭区选线

山岭地区,山高谷深,地形较复杂,同时地质、气候、水文等变化较大,这些均影响到路线的布设。

山岭区路线一般顺山沿河布设,必要时横越山岭。按路线通过的部位和地形特征,山岭区设线又可分为以下几种线形:

1. 沿河(溪)线

沿河(溪)线的布设主要应处理好河岸的选择、线位高低和跨河换岸地点及三者间的关系。

1) 河岸选择

路线应选择在地形宽坦,有阶地可利用,支沟较少,沟长较短,水文及地质条件良好的一岸;寒冷和季冻区,应选在阳坡和迎风的一岸;除汽车专用公路外,一般公路可选在村镇较多、人口较密一岸,以方便群众。

2) 跨河换岸地点

应慎重地选择跨河桥位,处理好桥位与桥头路线的关系。

3) 线位高低

路线一般以低线位为主,但是必须做好洪水位的调查,以保证路基稳定性和安全。

4) 对下述局部特殊地段还应注意:

① 临河陡崖地段,抬高路线线位时,应注意纵面高低过渡的均匀;当采用低线位时,应注意废方堵河而改变水流方向和抬高水位的影响;

② 迂回河曲的突出山嘴,可考虑采用深路堑或短隧道方案;对迂回河弯地段,亦可考虑改河方案,以提高路线的技术指标;

③ 通过水库地区时,应考虑水库坍岸、基底沉陷的影响,以确保路基稳定性。

2. 越岭线

当道路控制点在山岭的两侧,若不采用隧道方案,就必须布设越岭线。越岭线是以纵断面为主导,布线时应主要处理好垭口选择、过岭标高和垭口两侧路线展线方案三者间的关系。

1) 垭口选择

垭口是决定越岭线方案的重要控制点,在符合路线总方向的情况下,应综合地质、气候、地形等条件,从可能通过的垭口中,选择标高较低和两侧利于展线的垭口。对于垭口虽高,但山体薄窄的分水岭,采用过岭隧道方案有可能成为更合适的越岭位置时,亦应予以比较选择。

2) 过岭标高

过岭标高是越岭线布设的重要控制因素,不同的标高会出现不同的展线方案。除工程地质不良和宽而厚的垭口外,通常可深挖过岭。但当挖深超过 25~30m 以上时,应与隧道方案进行

比较。

3) 垭口两侧展线方案

首先应考虑自然展线,不得已时才可采用回头展线。回头展线应尽量利用山谷(主沟、侧沟)、支脉(山嘴、山脊)和平缓山坡等有利地形,并应尽量避免在一个山坡上布设较多和相距很近的回头曲线。

4) 越岭路线的纵坡应力求均匀,平均纵坡及纵坡长度应严格遵照《技术标准》的规定,一般不应设置反坡,特殊情况下设置反坡时,应予以比较论证。

在越岭线的布设中,应进一步同采用隧道方案进行比较。隧道方案不仅可以缩短路线长度,而且使线形大大得以改善,减少营运费用,高等级道路尤其如此。因此,越岭线与隧道方案应进行技术经济比较后决定。

3. 山脊线

在合乎路线总方向的前提下,沿分水岭布设的路线称为山脊线。山脊线设置在分水岭平面不迂回曲折、各垭口间高差也不悬殊处。山脊线的布设主要应处理好控制垭口、侧坡以及控制垭口间的平均坡度三者的关系。

1) 选择控制垭口

分水岭方向顺直,起伏不大时,每个垭口均可暂定为控制点;当地形复杂,起伏较大且较频繁,各垭口高低悬殊时,一般以低垭口作为控制点,而突出的高垭口可以舍去,在有支脉横隔时,对相距不远、并排的几个垭口,应选择其中一个与前后联系条件较好的垭口作为控制垭口。

2) 侧坡的选择

当分水岭宽阔,起伏不大时,路线以布设在分水岭的顶部为宜;如分水岭顶部起伏大,可以将路线设在两侧山坡上,并应选择坡面整齐、横坡较缓、地质情况良好、以及积雪冰冻和支脉分布较少的一侧。

3) 控制垭口间的平均坡度

两控制垭口之间应力求距离短捷、坡度平缓。若控制垭口间平均坡度超过规定,则应视具体地形、地质条件,采用深挖、旱桥、隧道等工程措施,也可利用侧坡、山脊有利地形展线。

山脊线的优点是排水情况十分良好,排水结构物较少。

四、桥隧与道路线形的配合

1. 桥头路线的布设

道路跨河时,桥梁的位置对道路线形设计有相当大的影响,因此桥位的选择除了应考虑一般桥位选择的要求,如河床稳定、河面较窄、水力水文条件好、基础条件好等要求以外,还应充分注意桥位与路线的配合,以取得良好而又顺适的线形。桥头布线通常有以下几种情况:

1) 道路跨越支流的桥头设线

通常有两种方案:直跨方案和绕线方案,如图 2-1 所示。

直跨方案路线短,线形好,标准较高,但桥跨工程量较大、基础较深。

绕线方案路线较长,线形较差,标准较低,桥头引道常采用较小半径,于行车不利。但绕线方案桥跨孔径较小,基础条件较好。

采用何者要根据道路等级和桥位处地质、地形条件,经过技术经济比较后确定。

2) 利用河曲在“S”形河段跨河,以争取桥轴线与河流成较大的交角,改善桥头线形,如图 2-2、2-3 所示。

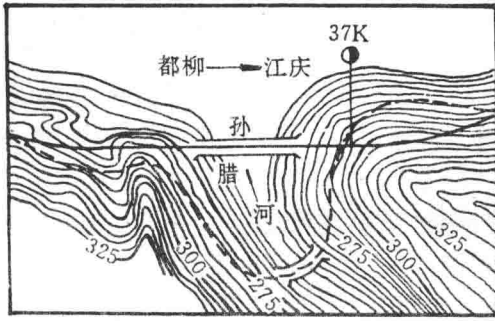


图 2-1 道路跨支流的桥头布线

道路跨越主河时,由于路线与河流接近平行,桥头布线通常较困难。若跨河位置选在河曲附近或“S”形河段中部,桥头线形将显著改善,但要注意防止河曲地段水流对桥台的冲刷,采取一定的防护措施。

3)适当斜交改善桥头线形

如图 2-4,在直河段跨河时,正交桥位桥头线形差,对中、小桥可用适当斜交的方法,如图 2-5,这样桥头线形可得以改善。

对于大桥不宜斜交时,可对桥头路线适当处

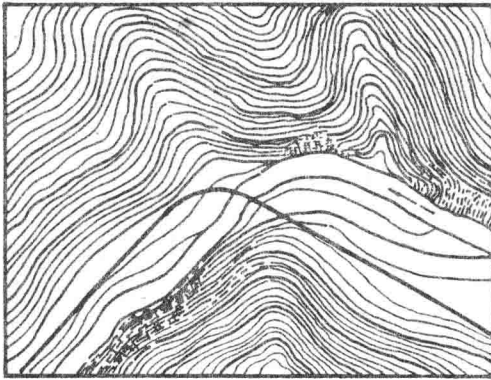


图 2-2 河弯处跨河线形

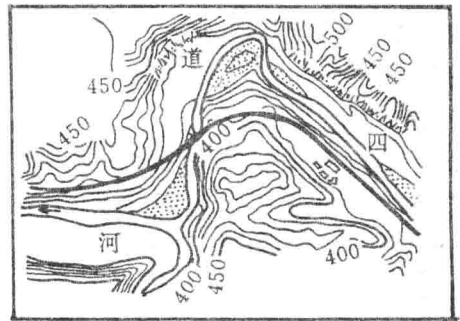


图 2-3 “S”形河段中部跨河线形

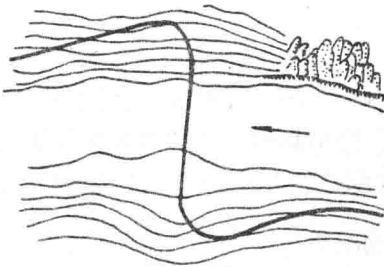


图 2-4 正交桥位线形

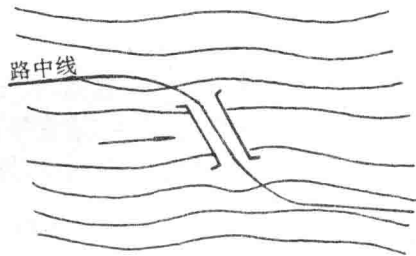


图 2-5 斜交桥位线形

理,通常把桥头路线做成杓形或布置一段弯引桥,如图 2-6 所示,以争取较大半径,改善桥头线形。

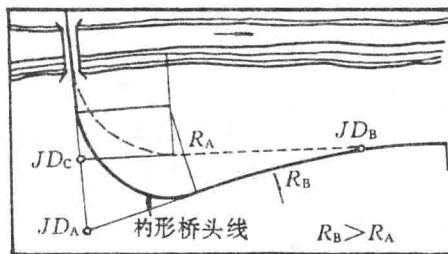


图 2-6 桥头杓形布线

总之,在作桥头接线布设时,应综合考虑桥位和道路线形两方面的影响。对于高速公路、一级公路,由于其平、纵技术指标较高,设计中必须注意桥位线形设计要符合路线布设的要求。必要时应随路线的布设而做成弯、坡、斜桥。

2. 隧道洞口路线布设

隧道洞口路线布设应注意以下几点:

1) 隧道以采用直线线形为宜,如必须设置平曲线时,应采用不设超高的圆曲线半径,并满足停车视距的要求。当受地形条件及其他特殊情况限制,需布置在设超高的圆曲线区段时,其各项技术指标应符合路线布设的有关规定。

2) 隧道洞口的连接线应与隧道线形相协调。

3) 隧道两端洞口连接线的纵坡应有一段距离与隧道纵坡保持一致,并保证公路停车或会车视距的要求。

4) 当隧道净宽大于该公路等级路基宽度时,在两端洞口连接线不小于 50m 的范围内应同隧道等宽,并设计过渡段与之衔接。如隧道净宽小于该公路路基宽度时,两端洞口连接线仍按该等级公路的标准路基宽度设计,在隧道洞口端墙外设过渡段与之衔接。

第二节 道路平面线形

道路的平面线形,在受地形、地物等障碍的影响而产生转折时,转折处需设置曲线。通常曲线是圆曲线,为了使线形更符合汽车行驶轨迹从而确保行车的顺适与安全,在直线与圆曲线间或不同半径的两圆曲线之间要插入缓和曲线。所以,构成道路平面线形的主要组成要素是直线、圆曲线和缓和曲线。

一、直 线

直线是平面线形的基本要素之一。直线作为平原地区道路的主要线形,它具有路线直捷、前进方向明确和测设简便等优点。但是长直线由于景色单调和公路环境缺少变化往往会使驾驶员产生疲劳或注意力分散,以致发生事故。因此,在线形设计中,选取直线及其长度时必须慎重考虑,应避免使用过长直线,并注意直线的设置应与地形、地物、环境相协调。直线最大长度及其在曲线间最小长度可参考表 2-1 规定。

表 2-1

计算行车速度 $V(\text{km/h})$		120	100	80	60	40	30	20	
直线最大长度(20V) (m)		2 400	2 000	1 600	1 200	800	600	400	
直线最小长度 (m)	同向曲线间	一般值(6V)	720	600	480	360	240	180	120
		特殊值(2.5V)	—	—	—	—	100	75	50
	反向曲线间	一般值(2V)	240	200	160	120	80	60	40
		特殊值	—	—	—	—	35	25	20

二、圆 曲 线

1. 圆曲线半径的确定

在道路平面设计中,应在两直线段交汇点处,用曲线将其平顺地连接起来,以利于汽车安

全正常地通过。这段曲线称为道路平曲线。道路沿线平曲线的平顺程度是不一样的,它受到曲线敷设处技术条件的限制。道路平曲线是鉴别道路等级高低的重要技术指标之一,因此必须掌握平曲线的设计原理。

平曲线的设计原理是确保汽车沿道路前进时,其横向与纵向能同时处于安全正常状态。在平曲线上行驶的横向安全状态,是指设计中应当确保汽车无侧滑和倾覆的危险;而横向的正常状态,则指汽车上的乘客和汽车本身处于平稳状态。设计中应当确保乘客有一定舒适性,应当力求汽车在平曲线上的额外消耗(燃料、车轮磨损、机件磨损)尽可能小,同时,应力求延长路面使用寿命。横向安全正常状态与汽车行驶于平曲线上的受力状态有关,因此必须分析其横向受力状态。

设平曲线上道路路基断面如图 2-7 所示,平曲线在该断面处的曲线半径为 R ,路面内外侧对称,路面横坡 $i_1 = \text{tg}\alpha$ 。汽车以车速 $v(\text{m/s})$ 匀速行驶于内外侧路面上,车重为 $G(\text{N})$ 。在汽车重心 O 处设直角坐标系 XOY ,其中 OX 轴与路面平行。汽车质量为 $m(\text{kg})$,重力加速度为 $g=9.81(\text{m/s}^2)$,则汽车上的作用力有:

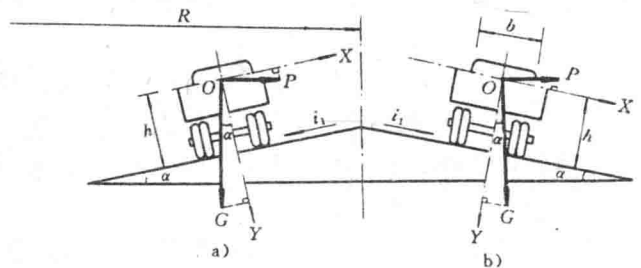


图 2-7 汽车在曲线上行驶的横向力
a)内侧;b)外侧

$$\text{离心力 } P = mv^2/R \quad (\text{N})$$

$$\text{重力 } G = mg \quad (\text{N})$$

当汽车行驶于平曲线内侧时,取 X 轴方向作用于车体上的实际横向力为 x ,则有:

$$\begin{aligned} x &= P\cos\alpha - G\sin\alpha \\ &= (mv^2/R)\cos\alpha - mgs\sin\alpha \quad (\text{N}) \end{aligned}$$

在道路设计中, α 角实际上很小,可取 $\cos\alpha \approx 1.0$, $\sin\alpha \approx \text{tg}\alpha = i$,则得:

$$x = \frac{mv^2}{R} - mgi_1 \quad (\text{N})$$

为了分析方便,常令 $\mu = \frac{x}{G}$,即单位车重所承受的实际横向力,亦称为横向力系数,则:

$$\mu = \frac{v^2}{gR} - i_1 \quad (2-1)$$

于是得:

$$R = \frac{v^2}{g(\mu + i_1)} \quad (\text{m}) \quad (2-2)$$

当车速 $v(\text{m/s})$ 换算为 $V(\text{km/h})$,路面横坡 i_1 用超高横坡 i_B 表示时,便可写成式(2-3):

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

式(2-3)便是道路平曲线上确定曲线半径的公式。按上述原理不难推导出车辆行驶于曲线外侧(图 2-7)时, $R = \frac{V^2}{127(\mu - i_B)}$ (m)。由此可见,道路平曲线上的曲线半径公式应表达为:

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_B)} \quad (\text{m}) \quad (2-4)$$

显然,曲线半径 R 与横向力系数 μ 密切相关。 μ 的合理取值依赖于以下几方面:

1) 行车的横向倾覆稳定性

设图 2-7 中汽车重心高为 h (m), 车轴上的轮距为 b (m), 重心在 $\frac{b}{2}$ 处。当汽车出现横向倾覆危险的一瞬间时, 其横向力产生的倾覆力矩 μh 与汽车自重所具有的稳定力矩 $\frac{1}{2}b$ 可近似地呈下列关系:

$$\mu h \geq \frac{1}{2}b$$

即

$$\mu \geq \frac{b}{2h} \quad (2-5)$$

现代汽车设计中一般 $b \approx 2h$, 因此, 在倾覆危险状态时:

$$\mu \geq 1.0$$

道路设计中所使用的 μ 值都远小于 1.0, 因此, 平曲线上汽车的倾覆稳定性是得以充分保证的。

2) 行车的滑动稳定性

设 φ_2 是车轮与该处路面之间的横向摩阻系数, 则汽车与路面之间的横向抗滑力 F 可近似表达为:

$$F = \varphi_2 G = \varphi_2 mg \quad (\text{N}) \quad (2-6)$$

或

$$\varphi_2 = \frac{F}{G} = \frac{F}{mg} \quad (2-7)$$

导致汽车横向侧滑的力实际上是横向力 x 或 μ , 阻止汽车侧滑的力是汽车横向抗滑力 F 或 φ_2 。在汽车出现横向侧滑的瞬间, 将存在:

$$x \geq F$$

或:

$$\mu \geq \varphi_2$$

如果要防止汽车发生横向侧滑, 设计中必须保证:

$$\mu \leq \varphi_2 \quad (2-8)$$

或:

$$R \geq \frac{v^2}{g(\varphi_2 \pm i_B)} = \frac{V^2}{127(\varphi_2 \pm i_B)} \quad (2-9)$$

从式 2-8 和式 2-9 两式的设计原理可以看出, 设计中必须保证在任何情况下都满足 $\mu \leq \varphi_2$, 据此可作为选择路面类型的依据之一, 同时也是已知路面类型 (φ_2 已知) 后选择平曲线半径 R 的又一方法。因此, φ_2 是道路平曲线设计中的一个重要因素, 同时也是路面质量中一项重要的技术指标。 φ_2 取决于路面潮湿程度、车速及路面类型等, 其中与路面的潮湿程度关系最大。

3) 乘客舒适性

横向力系数 μ 值的大小对乘客乘车的舒适程度有相当大影响。有关研究表明:

$\mu < 0.10$ 时, 转弯不感到曲线存在, 很平稳;

$\mu = 0.15$ 时, 转弯略感到曲线存在, 尚平稳;

$\mu = 0.20$ 时, 转弯已感到曲线存在, 感到不平稳;

$\mu = 0.35$ 时, 转弯感到有曲线存在, 已感到不平稳;

$\mu > 0.4$ 时, 转弯时已非常不稳定, 站不住, 且有倾倒的危险。

综合上述研究结果, 从乘客的乘车舒适性来看, μ 值最好不超过 0.10, 最大也不应超过 0.15~0.20, 即取 $\mu \leq 0.15 \sim 0.20$ 是较为适宜的。

4) 营运经济性

研究表明, μ 值不同, 燃料消耗和轮胎磨耗亦不相同, 如表 2-2 所示。

μ 与燃料消耗和轮胎磨损关系表

表 2-2

μ	燃料消耗(%)	轮胎磨损(%)	μ	燃料消耗(%)	轮胎磨损(%)
0	100	100	0.15	115	300
0.05	105	160	0.20	120	390
0.10	110	220			

因此,从汽车营运经济出发, μ 以不超过 0.10~0.15 为宜。

2. 圆曲线最小半径

综合上述分析,依据前面所述公式(2-4)计算并结合我国的具体情况,《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)规定了各级公路的圆曲线最小半径值(见表 2-3)。城市道路规定值见表 2-4。

各级公路圆曲线最小半径

表 2-3

公路等级	汽车专用公路								一般公路					
	高速公路			一		二		二		三		四		
地形	平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
极限最小半径(m)	650	400	250	125	400	125	250	60	250	60	125	30	60	15
一般最小半径(m)	1 000	700	400	200	700	200	400	100	400	100	200	65	100	30
不设超高最小半径(m)	5 500	4 000	2 500	1 500	4 000	1 500	2 500	600	2 500	600	1 500	350	600	150

城市道路圆曲线最小半径

表 2-4

计算行车速度(km/h)	80	60	50	40	30	20
不设超高最小半径(m)	1 000	600	400	300	150	70
设超高的一般最小半径(m)	400	300	200	145	90	40
设超高最小半径(m)	250	150	100	70	40	20

一般情况下,应尽量采用大于或等于表列一般最小半径,以提高道路使用质量。当受地形或其他条件限制时,方可采用表列极限最小半径。改建公路工程中利用现有公路路段,山岭、重丘区二级公路的极限最小半径可采用 50m;山岭、重丘区三级公路的极限最小半径可采用 25m。

极限最小半径是指圆曲线半径采用的最小极限值。道路曲线半径为极限最小半径时,为保证行车的安全性,应设置最大超高坡度。

《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)(以下简称《技术标准》)中极限最小半径规定值是取 $\mu = 0.15$,最大超高 i 取 8%(高速公路、一级公路取 10%,严寒积雪情况取 6%),按前述式(2-4)计算确定的。

如某山岭区四级公路,计算车速 $V = 20\text{km/h}$,该路极限最小半径为:

取 $\mu = 0.15$, $i = 8\%$, 则:

$$R_{\text{极限}} = \frac{V^2}{127(\mu + i_B)} = \frac{20^2}{127 \times (0.15 + 0.08)} = 13.6(\text{m})$$

《技术标准》规定值为 15m。

不设超高的最小半径是指当平曲线半径较大时,离心力的影响较小,路面的摩阻力足以保证汽车足够的行驶稳定性,因而不需要设置超高。《技术标准》中关于不设超高最小曲线半径之规定值是按路面泥泞或结冰等时的最不利情况,并考虑线形的顺适协调,取 $\mu=0.035$,路拱外侧横坡 $i_0=-2\%$ (或 -1.5%)按 $R=\frac{V^2}{127(\mu-i_0)}$ 计算确定的。不同路面类型的路拱横坡度可参见第五章中表 5-10。

[例] 某微丘区的一级公路,沥青混凝土路面, $V=100\text{km/h}$,取 $\mu=0.035, i_0=1.5\%$, 则:

$$R_{\text{不设}} = \frac{V^2}{127(\mu-i_0)} = \frac{100^2}{127(0.035-0.015)} = 3\,937(\text{m})$$

《技术标准》规定值为 4 000m。

一般最小半径是指在通常情况下采用的最小半径,它介于极限最小半径与不设超高最小半径之间,《技术标准》中所规定的一般最小半径数值是根据表 2-5 中所列的 $(\mu+i)$ 值按公式 $R=\frac{V^2}{127(\mu+i)}$ 计算确定的。其中 μ 值与 i 值均按道路的极限最小半径 $R_{\text{极限}}$ 与不设超高最小半径 $R_{\text{不设}}$ 数值的比例而变化。

圆曲线半径的选择,应与当地地形、经济等条件相适应,且应尽量采用大半径,但最大半径以不超过 10 000m 为宜。

表 2-5

$V(\text{km/h})$	一般最小半径 $R(\text{m})$	$(\mu+i)=\frac{V^2}{127R}$	$V(\text{km/h})$	一般最小半径 $R(\text{m})$	$(\mu+i)=\frac{V^2}{127R}$
120	1 000	0.11	40	100	0.13
100	700	0.11	30	65	0.11
80	400	0.13	20	30	0.11
60	200	0.14			

当平曲线半径小于《技术标准》所列不设超高最小半径时,应在曲线上设置适当的超高。超高值一般随半径的增大而减小。它通常依计算行车速度、半径大小,并结合路面类型、自然条件等情况确定。高速公路、一级公路的超高横坡不超过 10%,其它各级公路不超过 8%。

积雪、寒冷地区,如设置过大超高,易造成汽车向内侧滑移。为保证行车安全计,最大超高坡度不宜大于 6%,并应将曲线半径相应地增大。各级公路超高值可参照表 2-6 使用。

3. 平曲线最小长度

汽车在道路曲线上行驶时,若曲线很短,则驾驶员操作方向盘频繁,在高速驾驶时是危险的。同时,若不设置足够长度的曲线使离心加速度变化率小于一定数值,从乘客心理状态来看也是不好的。

另外,小偏角处的平曲线容易引起视觉误差,使得驾驶员看到的曲线比实际短、半径比实际小。因而对于偏角小于 7° 时,应取较大半径以保证必要的平曲线长度。高等级道路尤其如此。

因此,平曲线最小长度的确定通常按下述三方面考虑:

1) 按 6s 行程确定平曲线最小长度

$$L=v \cdot t = \frac{V}{3.6} \times 6 = 1.67V(\text{m})$$