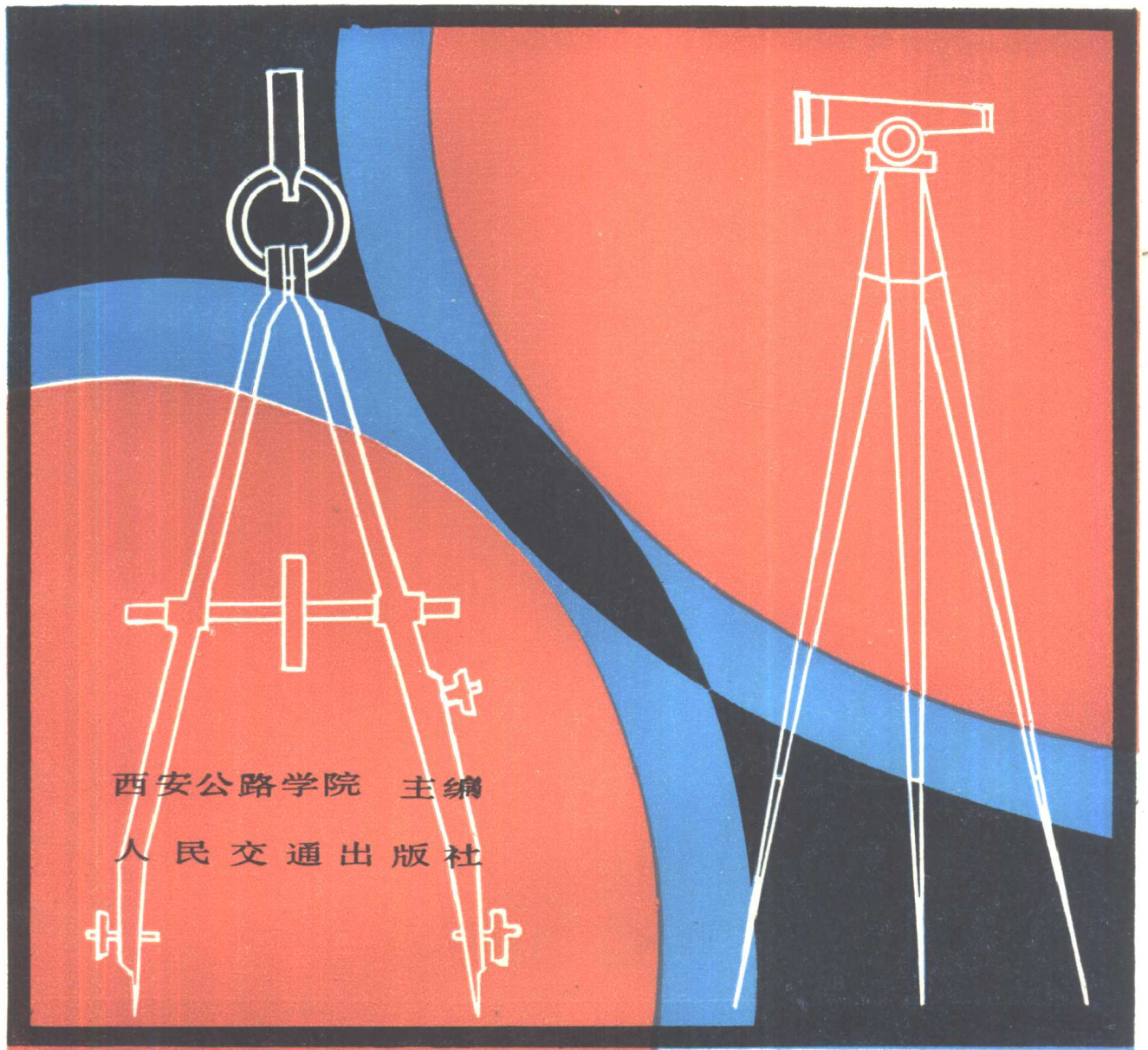


高等学校试用教材

# 公路勘测设计

(公路工程专业用)



西安公路学院 主编

人民交通出版社

高等学校试用教材

# 公路勘测设计

(公路工程专业用)

西安公路学院 主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍公路路线几何设计的理论基础与基本方法,并扼要地介绍了公路交叉设计及高速公路设计要点。附录部分系统地介绍了公路勘测设计的实用方法及常用图表,可作野外勘测实习及毕业设计的技术指导。

本书为公路工程专业教材,也可供公路勘测设计、科研人员学习参考。

本书由西安公路学院主编,重庆交通学院、河北工学院和福州大学参加编写。第一至六章由张雨化、张乃苍、王文锐、聂森堂编写,第七、八章由肖乾金编写,附录由黄世昌编写。全书由周棋主编。

本书主审单位为湖南大学,由冯桂炎主审,薛珊荣、倪江华、陈敏尧参加审阅,并请北京建筑工程学院、同济大学、南京工学院、北京工业大学、哈尔滨建筑工程学院、长沙交通学院有关教师共同参加了审阅。

高等学校试用教材

### 公 路 勘 测 设 计

(公路工程专业用)

西安公路学院 主编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京通县张家湾曙光印刷厂印

开本:  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  印张: 17.25 字数: 424千

1980年12月 第1版

1983年5月 第1版 第2次印刷

印数: 5,701—9,500 定价: 1.80元

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
第一节 我国公路现状和发展规划 .....	1
第二节 公路设计的技术标准和设计阶段 .....	2
第三节 本课程在公路设计中的任务 .....	5
第二章 路线的平面设计 .....	6
第一节 概述 .....	6
第二节 圆曲线的半径 .....	7
第三节 缓和曲线及其长度 .....	11
第四节 平面设计应注意的几个问题 .....	21
第五节 视距的要求 .....	24
第三章 纵断面设计 .....	28
第一节 概述 .....	28
第二节 汽车行驶性能和纵坡 .....	28
第三节 竖曲线 .....	47
第四节 纵断面设计要点及与平面的配合 .....	54
第四章 横断面设计 .....	61
第一节 公路类型和路幅的构成 .....	61
第二节 弯道平面设计 .....	64
第三节 弯道超高设计 .....	74
第四节 视距的保证 .....	84
第五章 选 线 .....	87
第一节 路线方案选择 .....	87
第二节 平原地区选线 .....	91
第三节 山岭区选线 .....	93
第四节 丘陵区选线 .....	108
第六章 定线方法 .....	113
第一节 纸上定线和实地放线 .....	113
第二节 直接定线 .....	119
第三节 纸上移线 .....	124
第七章 路线交叉 .....	127
第一节 交叉口的交通分析和设计要求 .....	127
第二节 平面交叉口设计 .....	128
第三节 立体交叉 .....	143
第四节 公路与其他线路交叉 .....	154

<b>第八章 高速公路</b> .....	157
第一节 高速公路的特点及其发展概况.....	157
第二节 高速公路的几何设计标准.....	160
第三节 高速公路的沿线设施.....	165
<b>附录一 路线勘测的外业工作</b> .....	169
一、路线勘测的目的、任务与要求.....	169
二、路线详测的工作内容与外业分工.....	170
三、选线组作业.....	173
四、量角组作业.....	179
五、中桩组作业.....	182
六、水平组作业.....	191
七、横断面组作业.....	193
八、地形组作业.....	197
九、桥涵组作业.....	201
十、调查组作业.....	205
十一、内业组作业.....	213
<b>附录二 路线勘测的内业设计</b> .....	215
一、内业设计的内容与要求.....	215
二、路线平面设计.....	216
三、路线纵断面设计.....	219
四、路线横断面设计.....	224
五、人工构造物设计要点与工程量计算.....	235
<b>附录三 设计文件编制</b> .....	240
一、两阶段初步设计.....	240
二、两阶段施工图(技术设计).....	240
三、概、预算的编制.....	240

# 第一章 绪 论

## 第一节 我国公路现状和发展规划

### 一、我国公路现状和加速技术改造的必要性

建国以来，我国公路交通事业发展很快。解放前公路通车里程尚不足八万公里，到一九七八年底全国公路通车里程已达九十多万公里，其中高级、次高级路面为十四万三千公里，桥梁十二万八千余座。全国已有百分之九十九点九的县、百分之九十点五的公社、约百分之六十至七十的生产队通了汽车。公路的货运量占铁路、水运、公路三种运输方式总货运量的百分之六十以上，总周转量的百分之十三。公路建设的成就，为支援工农业生产、繁荣城乡经济、加强国防战备、改善人民生活、增进兄弟民族团结作出了显著的贡献。

但是，当前公路交通状况仍然跟不上客观形势发展的需要。一方面公路数量不足，目前我国公路密度不论按面积计还是按人口计在发展中国家中都是较低的，更不用说与工业先进国家相比了，而且我们还有少量的人民公社、部分的生产大队不通公路，还有不少省、县有不相连接的断头线。另一方面公路质量差，大部分公路是在原有大车道和简易公路的基础上改建的，许多新建公路也因受投资和工期等的限制，标准很低，路窄、弯急、坡陡，有的桥涵缺少，防护设施不全。全国尚有渡口七百余处未建桥梁，以致通过能力和抗自然灾害的能力很差，经常由于雨雪中断交通。已建的标准较高公路，在人口稠密地区的路段，也往往因混合交通的影响，通过能力也得不到充分发挥。特别是大中城市、港站枢纽、工矿基地的进出口公路，交通量增长很快，有的超出通过能力数倍，经常发生交通堵塞，交通事故日益增多。

以上种种落后情况如不迅速改善，将给国防、战备以及发展旅游事业带来更大困难。摆在我们面前的任务，一是增建一些急需的新线，二是对原有公路进行技术改造。但是无论在经济效果和迫切性方面，后者比前者更为重要。

随着交通量和汽车速度的增长，对原有公路不断加以技术改造，是世界各国公路交通适应国民经济发展的主要措施和必然趋势。工业先进国家近十几年以至几十年来公路里程增长有限，而每年大量投资大部分用在原有公路的技术改造上，包括把中、低级路面改造为高级、次高级路面以及大力修建高速公路网。我国各地交通部门在修建公路新线的同时，也对已有公路进行改造，十几年来改善线形铺筑油路十几万公里，新建、改建桥梁二百多万延米，大大方便了行车，提高了运效。据各地资料综合分析，公路改造线形并铺筑高级、次高级路面后，与原来老路相比，不仅大大降低了养护费用，而且汽车的车吨产量提高百分之三十左右，行驶速度提高百分之三十到五十，大修间隔里程延长百分之三十左右，轮胎行驶里程延长百分之四十左右，燃料消耗降低百分之十到二十，运输成本降低百分之十五到四十。可见经济效果是显著的。为了迅速改变公路交通落后面貌，当好经济建设的先行，加速公路的技术改造已成为各级公路部门的迫切任务。

## 二、公路建设的规划制订和计划安排

为了加速现有公路的技术改造，在公路科学技术上，必须解放思想，实事求是，尊重科学，讲求实效。从我国国情和公路交通的特点出发，努力学习国内外先进经验、先进技术，采用新理论、新技术、新工艺、新材料，做到学习与创造相结合，使公路测设、施工、养护、科研的技术水平大大向前推进一步。在管理上，必须坚持全面规划、统筹安排，充分发挥中央和地方两个积极性；贯彻自力更生，艰苦奋斗；修养并重，平战结合；分期改造，逐步提高；实行专业队伍与发动群众、民工建勤相结合；国家投资和养路费收入、地方自筹资金、民办公助相结合，充分调动各方面的积极因素，努力实现我国公路交通的现代化。

公路建设包括修建新线和旧路技术改造，都要按公路网的远景规划来发展。公路网的规划是根据国民经济计划对于公路运输的要求制定的。全国运输任务由铁路、水路、公路、航空和管道等运输组成的综合体系来承担。公路网是综合运输网的一个组成部分，按公路运输的特点和它与其他运输方式社会主义的合理分工来规划。规划工作必须切合实际，要在深入调查十五至二十年或更长的年度间运输交通量、工农业生产布局的发展和政治、经济、国防的需要的基础上，查清公路的修建历史、技术状况和薄弱环节，充分占有材料，进行全面的分析研究，对现有公路的布局、线形标准以及路基、路面、各项设施等提出全面的调查、改善、提高的规划，力求做到布局合理、标准适宜，设施齐全。

根据交通部公路局的初步规划，公路网分为国道、省道和县社公路三级体系。国道规划由交通部负责编制，在征求各省、市、自治区及中央有关部门的意见后进行调整和报批。省道规划由各省、市、自治区交通部门编制，在征求各地、县和省内有有关部门意见后，报省、市、自治区人民政府审批，并报交通部核备。县社公路规划由县编制，报省、市、自治区交通部门核备。这些规划陆续编成后，将作为公路建设计划安排的张本。

近期公路建设的计划安排要以原有公路的技术改造为重点，从实际需要和可能出发，分别轻重缓急，先干线后支线，集中力量进行改造，力求尽早发挥效益。其大致的轮廓为：一九八五年以前改造国道二万五千公里，其中一、二级公路一万公里左右，其余为三级公路；重要渡口改建桥梁；确保省会以上大中城市及重要港口、工业基地的进出公路的通过能力有根本性的改造。一九九〇年前完成十万公里国道网。省道的改造，一九八五年以前半数以上达到二、三级公路标准，一九九〇年前基本上都达到二、三级标准。县社公路也要逐步达到三、四级标准。

## 第二节 公路设计的技术标准和设计阶段

### 一、公路设计的技术标准

公路在开始修建或技术改造之前要经过勘测设计。

一条公路的任务、性质及它的起点、终点和中间的主要控制点（也称为据点）是公路网规划所规定的，而公路路线的具体位置的确定则是公路设计任务中最重要的一环。公路设计必须符合国家颁发的技术标准。技术标准决定于下列因素：

- (1) 路线在公路网中的任务、性质；
- (2) 远景交通量以及交通组合；

(3) 地形和其他自然条件;

(4) 设计速度 (或称计算速度)。

设计速度是技术标准最重要的指标, 影响工程费用和运输效率最大。设计速度是由前三个因素, 根据技术政策制定的。和其他因素一样, 路线在公路网中具有重要政治、国防意义者, 交通量较大者, 地形平易者, 则规定较高的设计速度; 反之则规定较低的设计速度。这样, 较高的设计速度虽然工程费用高, 但能较好地满足政治、国防的需要或能从运输上较快的得到经济补偿。

1972年3月27日交通部颁发的《公路工程技术标准》(试行) (以后简称《试行标准》) 把公路按其任务、性质和交通量分为四个等级, 又根据地形规定了不同计算行车速度。

一级公路——具有特别重要的政治、经济、国防意义, 专供汽车分道快速行驶的高级公路。一般能适应的年平均昼夜交通量为5000辆以上。计算行车速度120公里/小时。

二级公路——联接重要政治、经济中心或大工矿区的主要干线公路, 或运输任务繁重的城郊公路。一般能适应载重汽车年平均昼夜交通量2000~5000辆。计算行车速度平原、微丘陵区为80公里/小时, 山岭、重丘陵区为40公里/小时。

三级公路——沟通县以上的城镇, 运输任务较大的一般干线公路。一般能适应载重汽车年平均昼夜交通量为2000辆以下。计算速度平原、微丘陵区为60公里/小时, 山岭、重丘陵区为30公里/小时。

四级公路——沟通县、社、队, 直接为农业服务的支线公路。一般能适应载重汽车年平均昼夜交通量为200辆以下。计算行车速度平原、微丘陵区为40公里/小时, 山岭、重丘陵区为20公里/小时。

各级公路的主要具体指标汇总如表1。

主要具体技术指标汇总表

表1

公路等级		一		二		三		四	
地 形		平原、微丘	平原、微丘	山岭、重丘	平原、微丘	山岭、重丘	平原、微丘	山岭、重丘	
计算行车速度 (公里/小时)		120	80	40	60	30	40	20	
路面宽度 (米)		2×7.5	7或9	7	7	6	3.5		
路基宽度 (米)		≥23	10或12	8.5	8.5	7.5	4.5~6.5		
不设超高的平曲线半径 (米)		2,000	1,000	250	500	150	250	100	
最小平曲线半径 (米)		600	250	50	125	25	50	15	
最大纵坡 (%)		4	5	7	6	8	8		
停车视距 (米)		150	100	50	75	30	50	20	
会车视距 (米)		—	200	100	150	60	100	40	
竖曲线最小半径 (米)	凸形	10,000	4,000	1,000	2,500	500	1,000	500	
	凹形	2,500	1,000	500	750	500	500	500	
桥 涵 荷 载		汽-20、挂-100 汽-15、挂-80	汽-20 挂-100 汽-15 挂-80		汽-15 挂-80 汽-10 履-50		汽-10 履-50		
桥 面 净 宽		净-15或2× 净-7.5+分车带	净-9或净-7		净-7		净-7或净-4.5		

## 二、公路勘测设计程序

施工前的勘测设计工作按交通部颁发的《公路工程基本建设管理办法(试行)》(1973年3月23日批准)和《公路基本建设工程设计文件编制办法(试行)》(1973年7月17日批准,



1974年1月1日起试行)规定的程序进行。下面摘录《公路路线设计手册》对上述文件的摘要编写。

### (一)勘测设计阶段

#### 1.计划任务书

公路设计单位应根据批准的计划任务书和有关标准、规范进行勘测设计。计划任务书由提出计划的主管部门下达或由下级单位编制后按规定上报审批。计划任务书包括以下基本内容:

- (1)建设依据和意义;
- (2)路线的建设规模和修建性质;
- (3)路线基本走向和主要控制点;
- (4)工程技术标准和主要技术指标;
- (5)按几阶段设计,各阶段的完成时间;
- (6)建设期限和投资估算,分期修建的应提出每期的建设规模和投资估算;
- (7)施工力量的原则安排;
- (8)附路线示意图,工程数量、钢材、木材用量和投资估算表(工程数量、三材、投资等只在上报任务书时列入,以供审批时参考;上级下达任务时可不列入)。

计划任务书经批准后,如建设规模、技术标准、路线基本走向等主要内容有变更时,应经原批准机关同意。

#### 2.设计阶段

公路工程项目一般应按两阶段设计(即初步设计、施工图);对于修建任务紧急和方案明确、技术比较简单的项目及一般小型项目,可采用一阶段设计。

(1)两阶段设计:根据批准的计划任务书的要求,一般应通过踏勘测量,编制初步设计;根据批准的初步设计,通过详细测量,编制施工图。当技术方案较少或方案问题采取适当措施可以解决时,也可以通过详细测量,编制初步设计;根据批准的初步设计,通过补充测量,编制施工图。

对于大型的、复杂的建设项目,可通过勘测先提设计方案,经主管部门审查后再编制初步设计。

(2)一阶段设计:根据批准的计划任务书的要求,进行一次详细测量,据以编制施工图。

不论采用哪一种阶段设计,在勘测前要进行视查<sup>①</sup>。

### (二)设计文件的组成和内容

设计文件有两阶段公路初步设计、两阶段公路施工图、一阶段公路施工图等几种。

两阶段公路初步设计为报送主管部门审批的文件,批准后,作为进行详细测量、编制施工图以及控制投资的依据,由说明书、设计图表、施工方案和设计概算四部分组成。

两阶段公路施工图为经审批后交付施工的文件,由总说明、路线、路基路面、桥梁涵洞、隧道及沿线设施、筑路材料、施工组织计划、施工预算等八篇组成。

一阶段施工设计为报送审批后交付施工单位施工的文件,其组成和内容与两阶段公路施工图相同,但总说明书及分篇说明应参照初步设计说明书内容编制,并补充必要的比较方案图表、施工方案和设计概算。报送主管部门审批的可检送施工设计的一部分文件,其内容应

<sup>①</sup> 《公路基本建设工程设计文件编制办法(试行)》中改为调查。

参照初步设计办理。施工设计须同时编制设计概算和施工预算。

### 第三节 本课程在公路设计中的任务

公路是一个带状的空间三维结构物，包括路面、路基、桥涵、隧道等工程实体。公路设计是从几何和结构两大方面进行研究的。

在结构方面，对上述路面、路基、桥涵、隧道这些工程设计总的要求是：用最少的投资，尽可能少的外来材料以及合理的养护力量，使它们能在自然破坏力和由汽车行驶所产生的各种力的作用下，在设计年限内保持使用质量。

这些工程都分别开设课程学习研究。

公路设计的几何方面，则属于本课程研究的范围，主要研究汽车行驶与公路各个几何元素的关系，以保证在设计速度、预计交通量以及地形和其他自然条件下，行驶安全、经济、旅客舒适以及路容美观。因此，实际我们要涉及的是人、车、路、环境的相互关系。驾驶者的心理，汽车运行的轨迹、动力性能以及交通流量和交通特性都和公路的几何设计有着直接关系，要做好公路设计也必须研究这些问题，但因篇幅所限，书中只略加论列或直接引用已有的研究结论。此外，公路修建和汽车交通对于环境的影响今后也必须加以注意。

对于空间三维体的公路，设计时既要作为整体来考虑，也要把它剖解为路线的平面、纵断面和许多横断面来分别研究处理。本书先把平、纵、横这三个基本几何组成，分别讨论，以明确各自的需要，然后再在各章节结合地形以及其他自然条件作综合考虑。

本课程除了阐明几何设计理论和实践之外，还必须把几何设计和前面所述的结构设计及其有关的调查勘测结合起来。所以本课程是具有综合性的一门课程。为了使学生初步掌握综合设计和勘测的方法、加深对理论的理解，纸上定线的课程作业和野外测设的实践环节是不可少的。因此，在附录部分汇编了路线详测阶段的有关测设、勘查的现行方法，作为实习以及毕业设计的技术指导。

## 第二章 路线的平面设计

### 第一节 概 述

道路是一个三维空间的实体。它的中线是一条空间曲线。中线在水平面上的投影称为路线的平面，如图2-1a。沿着中线竖直地剖切，再行展开就成为纵断面。中线各点的法向切面是横断面。道路的平面、纵断面和各个横断面是道路的几何组成。设计一条道路，对于平、纵、横三个面，既要综合考虑，又需分别处理。

中线的位置，是根据当地的自然条件（地形、地质、水文、地物等）和该路所采用的技术标准，经过对平、纵、横的综合考虑，反复分析修正才确定下来的。对中线的桩志进行纵断面和横断面的地面线的测量，取得了这些资料以及其它必要资料之后，再做纵断面和横断面的设计。

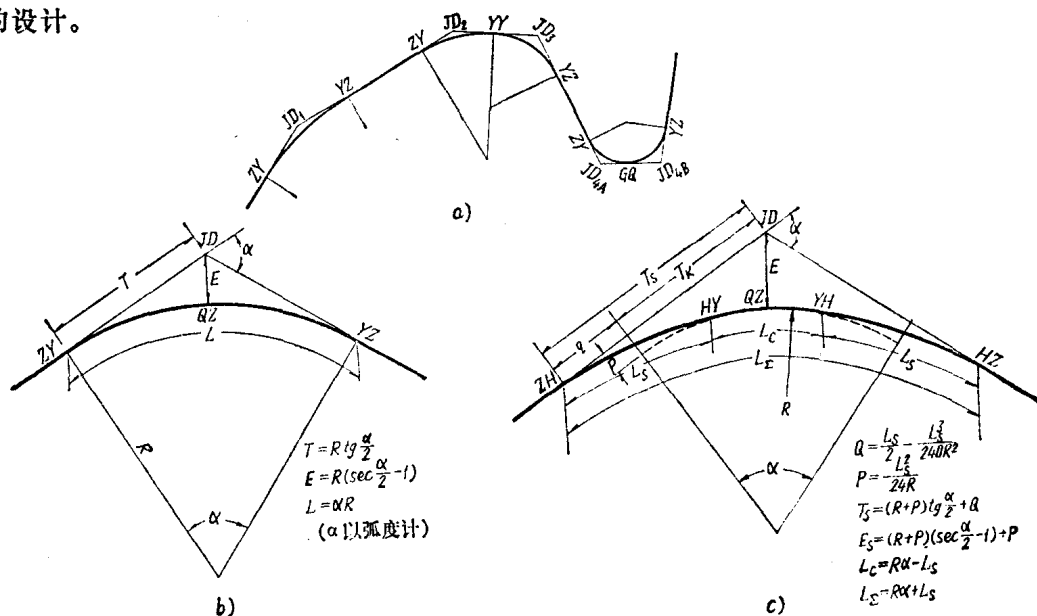


图2-1 路线的平面

a)路线平面图；b)直线与圆曲线直接衔接的弯道中线；c)设有缓和曲线的弯道中线

中线的平面形状即平面线形是由直线、曲线组合而成。曲线又分曲率半径为常数的圆曲线和曲率半径为变数的缓和曲线两种。多年来直线与曲线连接的传统作法是直线和圆曲线直接衔接（相切），如图2-1b所示。另一种作法是：直线和圆曲线之间以及复曲线的大、小半径圆曲线之间要插设回旋线型的缓和曲线，如图2-1c所示。图c中的移距 $P$ 是很小的，图中尺寸有所放大，在一般比例尺的图上显示不出图b与图c的区别。这种在中线上设置缓和曲线的作法，是近三、四十年才逐渐盛行起来的，但其运用也只限于等级较高、设计车速较大的公路，目前广泛采用的仍然是前一种。

路线的平面线形对汽车安全而又顺适地行驶具有重要的作用。平面线形各要素（直线、圆曲线和缓和曲线）的几何元素的确定是以设计车速为主要依据的。本章将重点讨论这些元

素，如圆曲线的半径、缓和曲线的长度以及直线、曲线的合理配置等与设计车速的关系。至于结合自然条件的具体路线设计将在以后有关章节中专门讨论。

## 第二节 圆曲线的半径

### 一、汽车在弯道上行驶时的力的平衡

汽车以速度  $v$  在弯道上行驶时，产生离心力  $F$ ：

$$F = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

式中：  $F$ ——离心力（公斤力，1公斤力 = 9.81牛顿）；

$G$ ——汽车重量（公斤力）；

$v$ ——汽车行驶速度（米/秒）；

$R$ ——弯道半径（米）；

$g$ ——重力加速度（ $\approx 9.81$ 米/秒<sup>2</sup>）。

如果用国际制单位，则

$$F = G \cdot \frac{v^2}{R}$$

式中：  $F$ ——离心力（牛顿）；

$G$ ——汽车质量（公斤）；

$v$ ——汽车行驶速度（米/秒）；

$R$ ——弯道半径（米）。

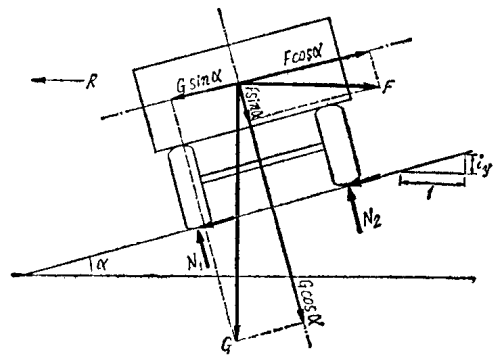


图2-2 汽车在弯道上行驶时的力的平衡图

离心力的作用点在汽车重心，方向水平并背离圆心。

为了减小离心力的作用，曲线上路面做成外侧高、内侧低呈单向横坡的形式，这就是弯道上的超高。汽车行驶在具有超高的曲线上，如图2-2，其车重的水平分力可以抵消一部分离心力的作用，其剩余部分，由路面与轮胎之间的磨阻力与之平衡。

将离心力与汽车重力分解为平行于路面的横向力（ $X$ ）和垂直于路面的垂向力（ $Y$ ），得横向平衡方程式：

$$F \cos \alpha = G \sin \alpha + (F \sin \alpha + G \cos \alpha) \mu = G \sin \alpha + (N_1 + N_2) \mu$$

上式左边为离心力平行于路面的分力，右边是与之抗衡的力，包括汽车重力平行于路面的分力（ $G \sin \alpha$ ）和路面与轮胎间的磨阻力 $[(F \sin \alpha + G \cos \alpha) \mu]$ 。式中  $\mu$  称为“横向磨阻系数”。当汽车正常行驶（轮胎不在路面上作横向滑移）时，它的值等于横向力与垂向力之比，故  $\mu$  也称为“横向力系数”：

$$\mu = \frac{X}{Y} = \frac{F \cos \alpha - G \sin \alpha}{F \sin \alpha + G \cos \alpha}$$

将横向平衡式加以整理，两边除以  $\cos \alpha$  得

$$F = G \operatorname{tg} \alpha + (F \operatorname{tg} \alpha + G) \mu$$

$$F(1 - \mu \operatorname{tg} \alpha) = G \operatorname{tg} \alpha + G \mu$$

因为

$$\operatorname{tg} \alpha = i_y,$$

$$F = \frac{G v^2}{g R}$$

所以 
$$\frac{Gv^2}{gR}(1 - \mu i_y) = Gi_y + G\mu$$

用国际制单位计算

$$F \cos \alpha = Gg \sin \alpha + (F \sin \alpha + Gg \cos \alpha) \mu$$

两边除以  $\cos \alpha$

$$F = Gg \tan \alpha + (F \tan \alpha + Gg) \mu$$

$$F(1 - \mu \tan \alpha) = Gg \tan \alpha + Gg \mu$$

式中:  $G$ ——汽车质量。

因为  $\tan \alpha = i_y$ , 
$$F = \frac{Gv^2}{R}$$

所以

$$\frac{Gv^2}{R}(1 - \mu i_y) = Gg i_y + Gg \mu$$

因式中  $i_y$  和  $\mu$  都是很小的数, 它们的积  $\mu i_y$  则更小, 可以省略, 于是得

$$\frac{v^2}{gR} = i_y + \mu$$

将车速  $v$  化为  $V$  (公里/小时)

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

式中:  $i_y$ ——超高率;

$\mu$ ——横向力系数, 也称转弯反力系数。

式(2-1)表达了横向力系数与车速、曲线半径和超高率之间的关系。这个关系式对确定平曲线半径、超高率以及分析汽车行驶在曲线上的稳定性具有十分重要的意义。

## 二、最小半径的计算

### (一)因素分析

汽车在曲线上行驶时, 由于受离心力作用使行车条件变坏。一些统计资料指出, 曲线半径愈小, 发生事故的趋势愈大, 所以在线形设计时, 只要地形条件许可都应尽量争取选用较大的曲线半径, 只有在某些特别困难的场合, 才考虑使用最小半径。最小半径可由式(2-1)得

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(\mu_{\max} + i_{y(\max)})} \quad (2-2)$$

在指定车速  $V$  的情况下, 最小半径  $R_{\min}$  决定于  $\mu_{\max}$  和  $i_{y(\max)}$ 。现对  $\mu$  和  $i_y$  分别讨论如下:

#### 1. 关于 $\mu$ 和 $\mu_{\max}$

$\mu$  的存在对行车产生种种不利影响,  $\mu$  越大越不利, 表现在以下几方面。

##### 1) $\mu$ 超过 $\varphi_0$ 时轮胎将在路面上滑移

汽车能在弯道上行驶的基本前提是轮胎不在路面上滑移, 这就要求  $\mu$  低于轮胎与路面之间所能提供的磨阻力系数  $\varphi_0$ , 以保安全:

$$\mu \leq \varphi_0 \quad (2-3)$$

行驶中的汽车在横向力作用下，车轮的驱动方向与汽车前进方向形成一个角度称为横向偏移角  $\delta$  (图2-3)。 $\delta$  与横向力系数  $\mu$  在一定范围内是成正比的。横向偏移角的增大，横向磨阻系数也增大，但趋近某一角度时，横向磨阻系数则达到了最大值，不再随角度变化 (图2-4)。这个最大磨阻系数  $\varphi_0$  因路面和轮胎状况而异，在路面干燥时约为 0.4~0.8，潮湿时 0.25~0.40，路面结冻和积雪时，横向磨阻系数降到 0.2~0.3，在冰雪路面上，使用普通轮胎 (不加防滑链) 时，比 0.2 还要小<sup>①</sup>。

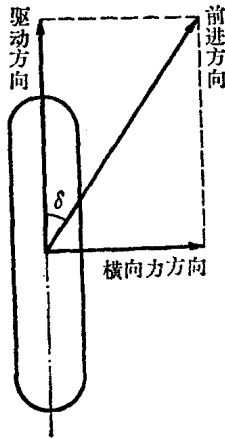


图2-3 汽车轮胎的横向偏移角

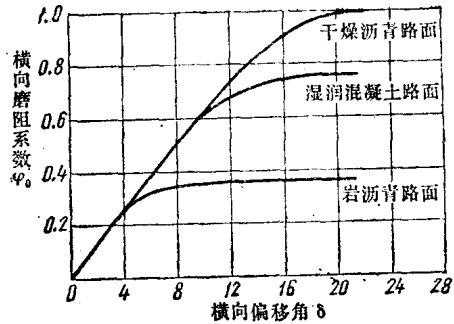


图2-4 横向磨阻系数与横向偏移角的关系曲线

#### 2) 增加驾驶操纵的困难

横向偏移角的存在增加了汽车在方向操纵上的困难，特别是车速较高时，当  $\delta > 5^\circ$ ，一般司机就不易保持驾驶方向上的稳定。

#### 3) 额外消耗燃料和轮胎

据美国的试验资料，由于  $\mu$  的存在，轮胎和燃料的额外消耗如下：

$\mu$	燃料消耗 (%)	轮胎消耗 (%)
0	100	100
0.05	105	160
0.10	110	220
0.15	115	300
0.20	120	390

#### 4) 行旅不舒适

汽车在行驶中不应该使驾驶者和乘客感到紧张和不舒适。 $\mu$  值如果过大，汽车不仅不能连续稳定行车，有时还需要减速。在曲线半径小的弯道上司机仍尽量要大回转，容易离开行车道，发生事故的可能性就大。当  $\mu$  超过一定数值时，司机就要着手增加汽车稳定性的操作。这些都增加了驾驶者在弯道行驶中的紧张，同时乘客也因  $\mu$  的增大而感到不舒适。据试验，乘客随  $\mu$  的增大其心理反应如下：

当  $\mu < 0.10$  时，转弯不感到有曲线存在，很平稳；

当  $\mu = 0.15$  时，转弯稍感到有曲线存在，但很平稳；

当  $\mu = 0.20$  时，转弯已感到有曲线存在，乘客稍感到不稳定；

① 据西德实测冬季路面的特殊情况，得出下列  $\varphi_0$  值：坚硬的积雪 0.20；粗糙不滑的冰面 0.12；光滑如镜的冰面 0.06。

当  $\mu = 0.35$  时, 转弯感到有曲线存在, 乘客已感到不稳定;

当  $\mu > 0.40$  时, 转弯已非常不稳定, 站立不住, 有倾倒的危险。

美国州公路工作者协会的研究也指出: 车速小于70公里/小时,  $\mu = 0.16$ ; 车速120公里/小时,  $\mu = 0.12$  是舒适的界限。

综上所述,  $\mu$  是必须加以限制的, 参考国内外的试验资料, 采用的  $\mu_{max}$  见表2-1。

## 2. 关于最大超高率 $i_{y(max)}$

在公路上行驶的车辆速度并不一致, 不仅要照顾快车, 而且也要照顾到慢车的安全。对于慢车, 乃至因故暂停在弯道上的车辆, 其离心力近于0或等于0。由式(2-1), 当  $V = 0$  时,  $i_y = -\mu$ 。这说明, 如  $i_y$  过大, 超出轮胎与路面间所能提供的磨阻系数, 车辆有沿着路面的最大合成坡度向下滑动的危险, 因此必须

$$i_{y(max)} < |\mu_w| \quad (2-4)$$

式中:  $\mu_w$  —— 是一年中气候恶劣季节轮胎与路面间的磨阻系数。

制定最大超高值除根据公路所在地区的气候条件外, 还必须给予驾驶者和乘客以心理上的安全感, 对重山区以及有相当数量非机动车行驶的道路, 最大超高还要比一般公路用得小些。

参照国内外以往和现在的经验, 建议最大超高值如下:

道路所在地区的气候	一般公路	重山区公路及其它
一般无冰冻	10%	8%
积雪季节短暂	8%	6%
冰冻季节较长	6%	4~6%

## (二) 最小半径的计算

### 1. 最小半径的绝对值

根据以上所述, 最大超高视道路的不同环境采用0.10、0.08、0.06,  $\mu$  视设计车速采用0.10~0.15, 按式2-2计算的结果列于表2-1。

最小半径的绝对值

表2-1

设计速度 $V$ (公里/小时)	120	100	80	70	60	50	40	30	25	20
建议采用的 $\mu_{max}$	0.10	0.11	0.12	0.125	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
$i_{y(max)}$	0.10	570	380	230	170	125	80	50	—	—
	0.08	630	415	250	190	135	90	55	30	22
	0.06	710	460	280	210	150	100	60	35	25

表2-1所列的最小半径是在  $\mu$  和  $i$  都用到最大值时得出的数值, 是最小半径的绝对最小值, 只有在特别困难的场合, 不得已时才能采用。

### 2. 最小半径的规定值

设计上规定的最小半径, 是  $i_{y(max)} = 6\%$  所计算之  $R_{min}$  值, 见表2-1最下面一行。凡在最小半径曲线上设置有大于6%的超高, 其实际的  $\mu$  值较容许的都要小。

### 3. 最小半径的推荐值

最小半径的规定值不应轻易采用。我们希望的最小半径, 一方面是要考虑汽车在这种半径的曲线上以设计速度或以接近设计速度行驶时, 旅客有充分的舒适感, 另一方面也要注意在地形比较复杂的条件下使用不会遇到太大困难。

日本对其已有的高速公路进行实地调查,从使用的曲线中选出使用频率占90%的半径值作为最小半径的推荐值。考虑到日本资料比较实际,我们粗略地用下式加以概括,以供参考。

$$R_T = \frac{V^2}{16} \quad (2-5)$$

式中没有具体考虑  $i_y$  和  $\mu$  值,理由是:驾驶者采用多大速度是出于他对公路几何要素的综合判断而确定的,  $i_y + \mu$  的变化幅度很小,对驾驶者在采用行驶速度上不会产生太大的影响。

按式 2-2 和式 2-5 计算的最小半径规定值和推荐值列于表 2-2,此表仅供设计者参考。我国《试行标准》对最小半径的规定列于表 2-2。

最小半径的规定值  $R_M$  和推荐值  $R_T$

表 2-2

设计速度 $V$ (公里/小时)	120	100	80	70	60	50	40	30	25	20
推荐最小半径 $R_T$ (米)	900	650	400	300	230	160	100	60	40	25
规定最小半径 $R_M$ (米)	710	460	280	210	150	100	60	35	25	15

## 习 题

2-1 课文中讨论了汽车行驶在弯道上产生横向滑移的可能性。如果弯道的半径很小,路面横坡  $i_y$  不适当,汽车的轮距  $b$  较窄,装载重心高度  $h$  又过大,车速  $V$  很高,则汽车有倾覆的可能性。试分析汽车在开始倾覆时上述诸因素的关系。

假设  $b=1.7$  米,  $h=1.8$  米,  $R=50$  米,路面横坡  $i_y = -0.03$  (反超高),求倾覆的临界速度  $V$ 。

2-2 在气候良好,交通量不大时,部分汽车会采用较设计车速更高的速度,特别是在低速公路上。据测,一些艺高胆大的司机采取的  $\mu$  可大至 0.3。问:在半径为 50 米、超高率为 0.06 的弯道上,这类汽车的时速可高至若干公里?

2-3 在冰雪覆盖的光滑路面上,一般司机会降低车速,以保持转弯时  $\mu$  不超出 0.07,以策安全。问:在半径为 50 米、超高率为 0.06 的弯道上,时速应不超出若干公里?

## 第三节 缓和曲线及其长度

### 一、汽车行驶轨迹与缓和曲线

正常行驶的汽车,无论转什么弯子,留下的轮迹都相当顺滑悦目,这是人们能看得到的。假如行车道的边缘能设计得符合(即平行于)前外轮、后内轮的轮迹,那将是最理想的。但是,行车道的平面设计一向不直接涉及轮迹问题,而是分成中线设计和沿中线的宽度两个问题分别处理。只要这两者分别处理得当,又结合得好,一般可以得到令人满意的结果。这里先讲中线设计如何大体上符合汽车行驶时其重心的轨迹,在第四章再讲宽度问题。

行驶中的汽车,其重心的轨迹的几何性质可以概述如下:



- (1) 这个轨迹是连续的而且是圆滑的;
- (2) 这个轨迹的曲率是连续的, 即轨迹上任一点不出现两个曲率的值;
- (3) 这个轨迹的曲率变化率是连续的, 即轨迹上任一点不出现两个曲率变化率的值。

人们对这些性质是逐步认识的。早期公路上的弯道既不超高也不加宽, 中线只满足第(1)点, 即只要求直线与圆曲线相切。后来, 由于交通量增大和车速提高的需要, 从铁路引来缓和曲线, 插设于直线和圆曲线之间或复曲线中的大、小半径曲线之间。这样道路中线就符合了(1)、(2)两条的要求, 虽然还不完全满足第(3)条, 但行车质量以及路容都有了很大提高。

缓和曲线采用的形式有回旋线、双纽线、三次抛物线、多心复曲线等等。其中, 回旋线是“标准”形式。实践证明, 回旋线是很好的缓和曲线形式, 在现代较高级的公路上普遍采用。上述关于汽车行驶轨迹的三条几何性质, 是我们研究缓和曲线的出发点, 也是评价缓和曲线优劣的依据。为了更好地解决路线设计问题, 下面除介绍回旋线外, 同时也介绍使用更方便的“ $n$ 次抛物线叠加在切线和圆弧上”的缓和曲线。

## 二、回旋线作为缓和曲线

### 1. 汽车行驶的轨迹

现在讨论行驶中汽车重心的轨迹。由于只讨论重心, 可以不考虑汽车的宽度, 将汽车简化成如图 2-5 的模样, 并忽略轮胎驱动方向和汽车行驶方向之间的横向偏移角。那么前轮转角  $\varphi$  和汽车重心轨迹的曲率半径  $r$  或曲率  $k(k = \frac{1}{r})$  的关系, 可粗略地表示为:

$$\varphi = \frac{A}{r} = Ak$$

式中:  $\varphi$ ——前轮转角以弧度计;

$A$ ——汽车前后轴的距离。

汽车作直线行驶时,  $k = 0$ , 因而  $\varphi = 0$ ;

汽车在半径为  $R$  的圆曲线上行驶时,  $k = \frac{1}{R}$ ,

$\varphi = \frac{A}{R} = \Phi$ 。汽车不可能由直线直接驶入圆

曲线或由圆曲线直接驶入直线, 因为  $\varphi$  不能一下子由 0 变到  $\Phi$ , 或由  $\Phi$  变到 0, 而需要有个渐变的过程。在这个过程中边走边打方向盘, 使  $\varphi$  发生上述的变化, 才能实现直线和圆曲线之间的过渡。在  $\varphi$  的变化过程中, 汽车重心走的轨迹是一种缓和曲线。

### 2. 回旋线做为缓和曲线

缓和曲线的形状取决于  $\varphi$  是如何变化的, 或者说取决于前轮的角速度  $\omega$  (以弧度/秒计),

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ 。其中  $d\varphi = Adk$ ,  $dt = \frac{ds}{v}$ , 所以

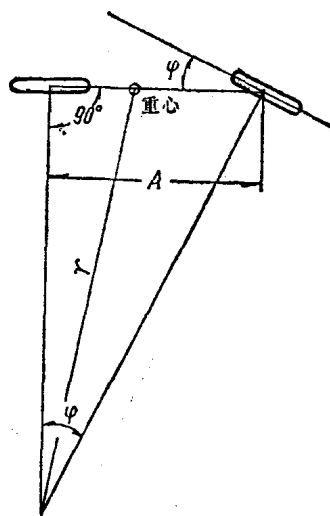


图2-5 汽车的转弯