

高等学校试用教材

公路 工程

(桥梁与隧道专业用)

张正林 主编

人民交通出版社

GONGLUGONGCHENG

高等学校试用教材

公 路 工 程

(桥梁与隧道专业用)

张 正 林 主 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书介绍公路路线、路基和路面的设计原理和计算方法，并简要叙述路基施工和各类路面的结构、材料要求及施工要点。

本书为桥梁与隧道专业教材，可供公路设计、施工及科研人员学习参考。

高等学校试用教材
公 路 工 程
(桥梁与隧道专业用)

张 林 主编

责任编辑：常行宪

封面设计：彭晓秋

插图设计：王惠茹

技术设计：周 圆

责任校对：张 莹

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
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092_{1/32} 印张：14.25 字数：355 千

1987年12月 第1版

1987年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—11,600册 定价：2.35元

前 言

《公路工程》是桥梁与隧道专业的一门专业课，也可为筑路机械、运输管理、城市规划等专业所选用。本教材是根据1982年4月高等院校路、桥专业教材编审委员会所确定的《公路工程》教学大纲编写的。通过本课程的学习，要求能掌握公路线形的原理和计算方法；路基、路面的设计和施工方法，从而使学生能基本解决桥隧进出端路线与桥隧的配合要求的问题及桥面铺装等问题。

本教材在编写过程中力求主次分明、突出重点、贯彻理论与实际相结合的原则，以便于学生掌握和运用。教学中根据教学大纲和实际情况可安排部分内容自学，以便适应不同层次的要求。本书共分十章，其中第一章总论；第二章至第四章为公路路线；第五章至第六章为路基工程；第七章至第十章为路面工程。

本书由重庆交通学院张正林主编，参加编写的有：梁富权（第六、八、九章），廖正环（第五、七、十章），汤尔基、孙照明（第二、三、四章），张正林（第一章），编写过程中曾得到有关兄弟院校和单位的帮助和支持，在此谨表谢意。

本书由西安公路学院陈继安主审。

由于我们水平所限，谬误之处一定不少，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 总论	1
第一节 公路运输的特点和国内外公路发展的概况.....	1
第二节 汽车交通.....	2
第三节 公路的技术标准.....	5
第四节 公路的组成部分.....	6
第二章 公路平面设计	7
第一节 概述.....	7
第二节 公路平曲线.....	9
第三节 平曲线上路面的加宽.....	16
第四节 平曲线上路面的超高.....	20
第五节 缓和曲线.....	27
第六节 平面视距.....	33
第七节 平曲线与直线的组合.....	39
第三章 纵断面设计	41
第一节 概述.....	41
第二节 汽车动力特性与公路纵断面设计.....	41
第三节 竖曲线的设置.....	54
第四节 公路平、纵设计配合.....	59
第五节 公路平、纵、横综合考虑的设计方法.....	62
第四章 公路线形设计	65
第一节 公路桥隧两端的路线.....	65
第二节 公路线形设计的技术要求.....	68
第三节 公路路线与环境的协调.....	75
第四节 公路路线交叉.....	76
第五章 路基设计	84
第一节 概述.....	84
第二节 路基常见病害.....	87
第三节 一般路基设计.....	89
第四节 河滩路堤设计.....	96
第五节 路基排水设计.....	100
第六节 路基的防护与加固.....	110
第六章 路基施工	115
第一节 概述.....	115
第二节 土质路基施工.....	116

第三节 路基石方爆破	122
第七章 路面工程概述	134
第一节 路面的作用及基本要求	134
第二节 路面结构层次划分	136
第三节 路面的分级与分类	137
第四节 行车荷载对路面的作用	138
第五节 环境因素与土基特性	141
第八章 沥青类路面	143
第一节 概述	143
第二节 沥青表面处治	145
第三节 贯入式路面	149
第四节 上拌下贯式路面	151
第五节 沥青碎石路面	151
第六节 沥青混凝土路面	153
第七节 沥青路面基层	156
第九章 柔性路面设计	166
第一节 概述	166
第二节 柔性路面结构设计	169
第三节 我国现行柔性路面的设计方法	172
第十章 水泥混凝土路面	200
第一节 概述	200
第二节 水泥混凝土路面的构造	200
第三节 水泥混凝土路面设计方法	208
第四节 水泥混凝土路面施工要点	216
主要参考文献	221

第一章 总 论

公路工程课程的内容包括公路路线、路基工程和路面工程。

在课程开始的时候，我们需要初步了解公路运输的特点和国内外公路发展的概况，汽车交通，公路技术标准和公路的组成。

第一节 公路运输的特点和国内外公路发展的概况

一、公路运输的特点

目前，公路运输在国内外已相当普及，概括起来，有下列几个特点：

①公路运输是通过汽车交通进行的，而汽车是机动灵活的，它可以直接从“门”到“门”，从产地到市场，从仓库到仓库。

②公路运输和铁路运输、水路运输、航空运输和管道运输等一样是一种运输方式，但是它是应用最广泛的一种运输方式，同时它在各种运输方式中处于联系的地位，做其他运输方式中的旅客、货物的集散工作。

③公路是城市与农村之间的纽带，公路运输把工业品运到农村，把农产品运进城市，它担任“面”的运输工作。我国农村人口占80%，农业地区特别广大，在农业地区内公路是大有发展前途的。

④在巩固国防、发展经济、增进各族人民团结、促进文化交流等方面公路有着重要的作用。

二、公路发展概况

解放前，我国公路运输十分落后。全国通车的公路尚不足 $8 \times 10^4 \text{ km}$ ，大都分布在沿海和内地的平原、丘陵地区。我国是一个多山的国家，在占全国面积65%的山区及高原、重丘地区以及边疆少数民族地区几乎没有公路。中华人民共和国成立以后，公路建设事业取得了飞速发展。到1983年底，形成了一个沟通各省、市、自治区的大、中城市，连接重要工矿基地、各大港口和运输枢纽，与铁路、水运、航空等运输方式相配合，伸向广大农村的公路网。

在公路里程不断增加的同时，公路的技术标准和路面质量也不断提高。解放初期，绝大多数公路达不到等级标准，如今多数公路已达到国家规定的等级技术标准。路面铺装率已达77.1%左右，特别是沥青路面有了较普遍的发展。在一些大、中城市之间修建了一些一级公路，如沈阳至抚顺公路，北京至密云公路，南京至六合公路，广州至佛山公路等。

我国也是一个多河流的国家，河流长期阻碍着两岸的交通。新中国成立以来，1956年至1983年的27年中，累计新增桥梁10万座以上，约350万延米。1983年以来，全国公路桥梁共有13.9万座，总长399万延米，其中永久式桥梁总长占96%，有的地方还发展了过江隧道来连接两岸。目前所有的大江、大河上都已架起了公路桥梁。解放前，长江上没有桥梁，黄河上仅有一座公路桥。现在从发源地到入海口，黄河上已建成公路大桥37座，长江上已有近20

座。公路桥的建设推动了公路运输的发展和商品流通，使天堑变为通途。

随着公路建设的发展以及汽车工业和石油工业的发展，我国的汽车运输发展很快。在我国已开始了公路集装箱直达运输业务，并且每年都有较大的增长。与此同时，我国公路客货运量、周转量占全国总运网中的比重也有了较大增长。

我国公路建设和公路运输虽然有了很大的发展，但是仍然不能适应国民经济发展的需要，目前仍然是个薄弱环节。

三、国外公路发展概况

第二次世界大战后，公路运输在世界范围内迅猛发展。由于公路运输对环境的适应能力很强，公路上可以行驶各种不同的车辆，旅客、货物可以直接从起点运到终点，在距离不长的情况下效率很高，因此公路运输显示出远大的发展前景。在出产石油的国家里，公路建设的发展特别迅猛。许多国家提出大力发展农村道路的问题，在偏僻山村修建公路，有助于较快地改变落后的经济面貌。

汽车运输的飞速发展使公路划分等级成为十分必要的。在不少国家内，通常按行政系统划分为国道、省（州）道，县道和农村道路等几个等级。

五十年代后，高速公路迅猛发展，并且各国高速公路互相连接，形成了国际性的高速公路网。

在不到一个世纪的时间里，公路运输已在世界范围内发展成为主导的运输方式。

第二节 汽车交通

安全、快速、舒适、经济是公路设计的目的。这些目的是通过汽车交通实现的。为此，要考虑：

①交通管制：包括法律及行政措施。

②规定汽车行驶速度和载重量：如载重汽车重型化、轻型汽车快速化，城市汽车要求加速性能好、起动快等。

③区分车流与单一车辆：在城镇及其近郊应重视车流，车流中必须保持车间净距；在远郊应重视单一车辆的车速能按设计车速充分发挥。

④公路路线及路基、路面状况应充分满足汽车行驶的要求：公路的平、纵、横相互配合，路基、路面状况良好。

⑤公路状况与驾驶员心理相适应：必须认识到优美的线型、明确的路面与路肩的界限、整齐的路基边线、安全设施及防护设施的完善等，使驾驶员的心理与公路状况和周围环境相适应。

⑥在不同地区应考虑不同的交通问题：如在城镇及其近郊应考虑交通流与行人、自行车之间的安全问题；在远郊应考虑混合交通的问题。

一、汽车交通带来的问题

早在1921年，由于汽车交通日益增长，在美国就有人为了减少行车阻塞和保证安全研究交通问题。那时，对汽车交通一般是不注意的，在公路设计中不考虑在汽车交通方面可能出现的问题。

而后,由于汽车数量激增,公路上交通阻塞和混乱情况日益增多。汽车交通带来的问题如交通事故、交通噪声、大气污染、环境恶化等日益受到人们的重视。

这些方面有许多科学研究成果。学习公路工程的人,至少对安全问题应当有一定的认识。对于公路路线设计,安全是第一位的要求,不了解行车安全是做不好路线设计的。

二、安全问题

全世界公路上汽车数量是逐年增加的,到1983年已接近5亿辆。每年在交通事故中死亡的人数有25万多。随着汽车数量的增长,安全问题越来越严重。

考虑交通安全问题时,首先是汽车行驶速度不能过高,同时对汽车驾驶员要特别重视。

公路的技术标准是根据设计车速决定的。即使没有干扰,汽车行驶速度过高也可能出事故。更重要的是汽车是由驾驶员驾驶的,是否产生安全问题,与驾驶员的关系特别重大。

许多国家都认为,驾驶员人选应受到特别的重视。已有资料说明,大多数事故与驾驶员的错误有关。驾驶员的品德、教育和技术水平应受到头等的重视。

对于公路设计人员来讲,必须注意下列几点:

①交通标志对行车安全关系特别大。新修的等级较高的公路上,必须设置各种交通标志,如指路标志,指示标志,管制标志,警告标志等。在易出事故的地点,在铁路与公路平面交叉道口上,在复杂的平面交叉上等处,也必须设置必要的标志,汽车驾驶员可随时通过这些标志,得到必要的信号和资料。交通标志的费用应该列入新修的公路工程预算。

②视距的保证对于行车安全是根本性的。对于汽车驾驶员来讲,没有足够的视距就只能低速行驶。公路的平面设计、纵断面设计等,都要充分考虑视距问题。可以说这是一项根本性的要求。在所有公路上,不允许存在任何妨碍行车视距的设施。

③行车是否滑溜是一个安全上的严重问题。为此,在路面表面与汽车轮胎之间应有足够的摩擦力,即不仅在干燥时要求有足够的摩擦系数,潮湿时也要求有足够的摩擦系数。

④应当避免长直线与小半径曲线相连接的线形设计。汽车在长直线上行驶时,车速会提高,可是突然遇到小半径曲线,就可能发生交通事故。

⑤在山区公路上地形险峻的地方,要设置护栏。在桥隧两端路线上,要竭力避免采用小半径曲线。在立体交叉路线上,要使跨线桥的桥墩远离下线的行车道,以免产生交通事故。

这些情况说明“安全”是公路设计的第一位要素。

三、行车速度和交通量

汽车行驶速度和交通量(单位时间内在公路上某一断面通过的车辆数)之间有复杂的关系。

当公路上车辆很少时,汽车可用比较高的速度行驶,此时限制车速的条件是公路的线形和路基、路面的状况。当车辆数目增多时,限制车速的条件就逐渐变为其他车辆,这时车速在逐渐减小,而交通量却在逐渐增长。到达临界状态(当车速降到某种数值,对于小客车,车流临界速约为50km/h)时,交通量为最大值;以后车辆数目再增加,不但车速不断下降,而且交通量也不断下降。这种停滞状态可以发展到车速为零,即到达车流停止的地步。

从公路运输而言,当然要设法避免在一个车道上有过多的汽车而产生停滞状态,同时希望交通量大,运输效率高。对于一个车流而言,单纯追求车速高,既不可能也没有必要。从运输效率而言,当行车车速接近临界车速时,交通量才是比较大的。明确这一点很重要。在

讨论车速和交通量之间的关系时，着眼点要放在运输效率上。

从运输效率而言，当车速超过临界车速以后，车间净距就要不断增大，从而交通量就要不断减少，车流的运输效率就要不断降低。

在车速和交通量这部分，应当了解：

①研究的目的是为了提高一个车流的运输效率。从这个目的出发，车速既不是越高越好，也不是越低越好，而是接近临界车速比较好。

②在研究运输效率时，可以把这种临界状态下的交通量称为公路的通行能力（单位时间内公路上某一断面能通过的最大车辆数）。在处理实际问题时，可以用公路的实际通行能力或服务交通量。一段公路的实际通行能力或服务交通量是应当通过实际观测来具体决定的。公路上有行人、自行车、兽力车、平面交叉口等的干扰，理论上通行能力只能适用于假定的条件之下。

四、行人、自行车的干扰

汽车行驶时常受到行人、自行车的干扰，这是车速有时很低而仍然会产生交通事故的原因。

在路段上行人应当按“各行其道”的交通规则在路肩上或人行道上走，不得随便横穿车行道。

在平面交叉口，行人应当通过行人横道穿过行车道。汽车通过行人横道时，不得快速行驶，更不得冲撞行人。这种行人与汽车平面交叉的处理方法，在行人或汽车的交通量不大的时候是可以的。当然，行人交通与汽车交通相互干扰的情况仍然是存在的。

在人流和车流都大的时候，这种平面交叉的处理方法就不恰当了。事实上，车流与人流可以在立面上完全分开。设置天桥或地道不仅可以使车流与人流完全分开，互不干扰，而且可以极其有效地减少安全事故。

处理自行车问题的有效作法是明确地划出自行车道。可以在路面上用划线的方法分出汽车道和自行车道。在平面交叉口上也划出自行车道。

国外已有研究资料，说明设置自行车道是大有好处的。骑自行车的人认为有了划出的自行车道就使骑车安全起来，既减少了自行车驶进汽车道或汽车驶进自行车道的机会，又减少了汽车与自行车相互冲突的机会。

必须认识到，自行车有能源消耗极少、有一定行驶速度和有益于健身等优点。骑自行车的人和汽车驾驶员都渴望减少和消除自行车与汽车冲突的机会。重要的是在自行车数量大的路线上，划出自行车道和设置好自行车的停车地点，并在上下班的时间里对汽车行驶路线作出规定。

五、交通管理的必要性

车辆种类的复杂性，运输起点和终点的多样性，路况的多变性以及行人、自行车的干扰等因素，使公路运输成为一项复杂的工作。如果不加强交通管理，就无法提高运输效率和减少安全事故。

在路线交叉口上加强交通管理特别有必要。合理地采用环形交叉、红绿灯信号、立体交叉，可以提高运输效率和保障行车安全。合理地及时地设置环形交叉、红绿灯信号、立体交叉可以看作是交通管理的手段。

有些城市规定：载重汽车只能在环城公路上行驶，不得进入城内。这条规定就使城区交通情况大为改善。这是通过规定汽车的行驶路线而加强交通管理。

交通管理的方法可以是多种多样的，但是，应该肯定的是，对于复杂的公路运输，加强交通管理是完全必要的。否则交通事故必然多，运输效率必然低。

在公路设计中应当为加强交通管理作充分的准备。交叉口设计、交通标志设置，在自行车多的地段划出或另设自行车道，在行人多的地点设置天桥或地道等等，都是公路设计中重要的内容。

第三节 公路的技术标准

公路设计必须根据交通部标准《公路工程技术标准》(JTJ1—81) (以下简称《标准》) 进行。对于新建公路必须严格按照这个标准进行建设。

《标准》上的计算行车速度就是设计车速，是为计算公路路线的技术标准用的。实际行车速度则不是一个常数，在交通量小时它主要受公路线形的影响，在交通量大时它主要受其他车辆的影响。

按照《标准》的规定，路线技术标准在相当长的公路路段上是保持不变的。在变更计算行车速度的路段应结合地形逐渐过渡。

根据《标准》，我国公路分为五个等级：

1. 高速公路

这是具有特别重要的政治、经济意义，专供汽车分道高速行驶并全部控制出入的公路，一般能适应的年平均昼夜汽车交通量为25000辆以上。

2. 一级公路

各级公路主要技术指标

表1-1

公路等级	高速公路		一		二		三		四	
地 形	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
计算行车速度 (km/h)	120	80	100	60	80	40	60	30	40	20
行车道宽度 (m)	2×7.5	2×7.0	2×7.5	2×7.0	9	7	7	6	3.5	
路 基 宽 度 (m)	26	23	23	19	12	8.5	8.5	7.5	6.5	
极限最小平曲线半径 (m)	650	250	400	125	250	60	125	30	60	15
停 车 视 距 (m)	210	110	160	75	110	40	75	30	40	20
最 大 纵 坡 (%)	3	5	4	6	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—15 级，挂车—80		汽车—10级 履带—50	
桥面车道数	4		4		2		2		2或1	

这是为连接重要政治、经济中心，通往重点工矿区，可供汽车分道行驶并部分控制出入、部分立体交叉的公路，一般能适应的年平均昼夜汽车交通量为5000~25000辆。

3. 二级公路

这是为连接政治、经济中心或大工矿区等地的干线公路，或运输繁忙的城郊公路，一般能适应按各种车辆折合成载重汽车的年平均昼夜交通量为2000~5000辆。

4. 三级公路

这是为沟通县及县以上城市的一般干线公路，一般能适应按各种车辆折合成载重汽车的年平均昼夜交通量为2000辆以下。

5. 四级公路

这是为沟通县、社、队的支线公路。一般能适应按各种车辆折合成载重汽车的年平均昼夜交通量为200辆以下。

各级公路主要技术指标见表1-1。

第四节 公路的组成部分

公路的组成是指在一般情况下公路工程包括的内容，以便在学习公路工程时有一个基本的概念。实际上，公路的组成对不同等级的公路在不同的条件下有很大的出入。以汽车停车场为例，在汽车数量不多的地方，可以不必设置；而在汽车数量多的地方，则是迫切的需要。在公路设计时，应当通过现场的调查研究确定公路的组成。

下面是常见的公路的组成：

①路线。指公路中线的空间线形，包括平面、纵断面和横断面三部分。三部分合成一个整体，从整体上说，路线必须合乎技术、经济和美学上的要求。

②路基。是公路线型建筑物的主体，也是路面的基础，包括土石方工程、排水工程和防护工程等。土石方工程是常见的路基工程，而排水工程在任何地形下都是必要的。对于沿溪线公路和在地形险峻的山区公路，防护工程如挡土墙，护坡等是特别重要的。

③路面。包括各种类型的路面。路面是公路的行车部分，路面工程的质量和造价有特大的重要性。

④桥梁、涵洞。包括各种形式的大、中、小桥、涵洞、漫水工程、过水路面等，公路桥梁常常是公路上雄伟壮观的人工构造物。

⑤隧洞。包括隧道、明洞和半隧道。公路隧道有突出的优点，既有利于缩短公路里程又有利于国防上的隐蔽。

⑥其它工程及沿线设施。包括交叉口（平面交叉、环形交叉、立体交叉）、交通标志、道路照明、安全设施（护栏、护柱）、标志牌、里程碑、沿线房屋、绿化设施及渡口码头等。

应当指出，现时公路的绿化设施已受到普遍的重视，但是要注意对绿化设施的要求。绿化设施是为了巩固公路建筑物和美化环境，在任何情况下都不能有碍于交通，特别是有碍于汽车的行车视距。

高速公路上必须有沿途的服务设施，如加油站、应急电话、停车场、饭店、旅馆等。

公路上的设施有些是随着实际应用而逐步充实的。旅游公路上要特别重视美化环境的设施。公路安全设施应当受到极大的重视。

第二章 公路平面设计

第一节 概 述

早期的公路时常沿着旧的大道修建。在地形有曲折和起伏的地方，往往平曲线半径很小（急弯），而且纵坡很大（陡坡）。在地形平坦的地方虽有较好的线形，但长直线与小半径曲线相连接的缺点又经常发生。这些缺点与测设方法有关，特别是与曲线敷设方法有关。

建国以后，我国在山区公路路线测设中，积累了十分丰富的经验。如在举世闻名的川藏公路上，测设的经验和教训是很有价值的，为我国山区公路的建设提供了宝贵的数据。我国有2/3的国土面积是山区，公路建设对山区发展是特别重要的。

近代公路的线形不仅要满足最低标准的要求，而且要有合理的曲率、坡度和其他线形要素，使行车安全方便，在可能的条件下与环境相协调。

公路测设要以《标准》为准绳。在路线测量之前必须明确公路等级、设计车速、最大纵坡、横断面尺寸等技术指标，同时对未来的交通量，车辆特点、每日交通密度的分布等项目要有清楚的预计。此外，对可用的资金情况也要有所了解。

航空测量和电子计算机是现代公路测设工作的新技术。航空测量通常用飞机在路线上空拍摄并制成较大比例的航测照片。这种航测照片通过双目放大镜，能够呈现出使人有立体感觉的图像，从中可以看出地面上的房屋，森林、地形，排水情况和沟渠边坡等。这项技术不仅对选定路线有用（配合实际调查），而且对公路网规划、线形设计、路界确定、交通调查、路基排水、土壤分类、土方工程估计、筑路材料调查、现有路况调查等都是有用的。这项技术还有助于提高测设工作的质量和效率。

在公路路线测设中，明确路线上的控制点是十分重要的。首先是交通线上的控制点，这就是路线必须经过的或靠近的城镇或旅游地点，它们是由路线性质和经济调查决定的。这些交通控制点就形成了路线总方向。其次是自然条件上的控制点，如越岭线上必须通过的垭口，跨越大河的桥位，石方集中地点的路线通过处，需要避开或通过泥沼、软土地带的地点等。还有一些是人为设施提供的控制点和控制高程，如水库附近的路线通过处，水田的高程，原有的道路和不能拆除的建筑物的平面位置和高程等。实际上，明确了路线的控制点和控制高程就大体上决定了路线的空间位置。

一、平原区选线

平原区除指一般平原外，还包括山间盆地、高原等平坦地形。其特征是：地面起伏不大，一般自然坡度在 3° 以下，除泥沼地、草原、沙漠、戈壁等外，有农田、城镇、村庄、道路、水系、河网湖泊、水塘等地物较多的特点。

在平原区选线，地形上的问题不大，弄清楚了控制点，如桥位，水田，不能拆除的建筑物等项目，再加上对路线顺直、短捷的要求，就不难选定路线。

然而，在平原区选线时仍然需要考虑一些问题：如占用田地，农田灌溉，绕避障碍物，

争取良好视距等。其中较普遍的问题是如何正确处理路线与农田的关系。通常,在平原区公路修建的预算中,征地费用是一个很大的数字。此外,在平原区选线时要十分重视公路路基的稳定问题。

总之,平原区选线应尽可能采用较高的技术指标。平面线形既不应片面追求长直线,也不应无缘无故转弯。在避让局部障碍物时要注意线形的舒顺。

二、丘陵区选线

丘陵区是介于平原和山岭之间的地形,其特征是宽脊低岭,山丘连绵,分水岭多,垭口不高,可能的路线方案相当多,要多看、多比较才能选好。丘陵区根据地形起伏轻重不同和对路线布置的限制程度分为重丘区与微丘区两类。前者近似于山岭地形,技术指标的掌握与山岭区大致相同,后者近似于平原地形,技术指标的掌握则近于平原区。但是丘陵区毕竟有它本身的特点,在选线方面,应按丘陵区地形分布规律进行分析,寻求合理的方案。

微丘区选线应注意利用地形协调平、纵线形的组合。既不要过分迁就微小地形,造成不必要的曲折线形,也不要过分追求直线,造成不必要的起伏线形。

重丘区地形起伏较大,采用技术指标的活动余地较大。选线应综合考虑平、纵、横三者的关系,恰当地掌握标准,以提高线形质量。一般应注意以下三点。第一路线应充分随地形的变化而布置。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。横坡较缓的地段,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。要注意纵向土、石方平衡,以减少借方和废方。第二平、纵、横三个面应综合考虑,不应只顾纵坡平缓,而使路线弯曲,平面标准过低;或者只顾平面顺直,而使纵坡过于起伏;或者只顾平面直捷,纵坡平缓,而制成高填深挖,工程过大;或者只顾工程经济,过分迁就地形,而使平、纵面过多地接近极限指标。第三冲沟比较发育的地段,一、二级公路可考虑采用高路堤或高架桥的直穿方案;三、四级公路则一般多采用绕越方案。在作路线方案比较时,一定要注意交通控制点的要求,远离路线总方向的方案,过分延长路线长度的方案都是不能采用的。

三、山岭区选线

在山岭区选线时有一些复杂的情况。

1. 沿溪线

当交通控制点是在同一水流一岸或两岸的时候,采用沿溪线比较好,这样可使纵坡平缓、线形顺直,只是桥涵孔径较大。山岭区内公路系统与水系一般是结合的,沿溪线公路是经常采用的方式。

在沿溪线选线中通常要考虑河岸选择,线位高低和跨河换岸等问题。

路线应选在地形宽坦,有阶地可利用,支沟较少、较小、水文及地质良好的一岸;积雪和冰冻地区,尽可能选在阳坡和迎风的一岸;一般应选在村镇较多,人口较密的一岸,以方便群众。

路线一般以低线为主,但应特别注意做好洪水水位的调查工作。为了防止水毁,路线标高必须高于河水最高洪水水位0.5m以上。

在跨越河流时,应慎重选择跨河桥位,处理好桥位与桥头路线的关系。

沿溪线通过陡岩路段,可采用局部提高路线的方案,但应注意过渡段路线平面上顺直、

纵断面纵坡变化均匀；同时应注意废方堵河、改变水流方向和抬高水位的影响。

路线遇到突出的山嘴时，可考虑采用深路堑或隧道方案。对河道迂回的路段，可考虑改河方案以提高路线的技术标准。

但是当交通控制点是在山岭的两侧时，那就不能总是采用沿溪线，而应及早升坡。

2. 山腰线

山腰线可以是沿溪线的局部升高，也可以是越岭线的一部分，在任何情况下路线必须设置在平缓、稳定的山坡上。

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为山脊线。

分水岭方向顺直，起伏不大时，各个垭口均可作为控制点，地形复杂，起伏较大时，且各垭口高低悬殊时，以低垭口作为控制点。当分水岭宽阔，起伏不大时，路线以设在分水岭顶部为宜。如分水岭顶部起伏大，可以将路线设在两侧山坡上。应选择坡面整齐、横坡较缓、地质情况良好的一侧。

山脊线有一个突出的优点就是排水情况十分良好，排水结构物可以少用。

山脊线也是有缺点的，如它远离居民点，受自然条件（云、雾、冰雪）影响较大，缺少筑路材料及水等，因而山脊线的采用是有限的。

4. 越岭线

当交通控制点在山岭的两侧，如不采用隧道方案，就必须布设越岭线。越岭线是以纵断面为主导，选线时应处理好垭口选择，过岭标高和垭口两侧路线展线方案三者的关系。

越岭线的测设可以分为两步：“自上而下”和“自下而上”。“自上而下”即从路线必须经过的垭口，以5~5.5%的平均纵坡向下放坡，这时高瞻远瞩，易找到平缓稳定的山坡，所设置的转角点组成的路线，轮廓正确。然后，“自下而上”充分利用局部有利地形，修正已设置的转角点，并进行路线测量。

通常越岭线是为了克服高差的展线，因此，要充分利用有利地形，使路线顺畅。路线的方向可随地形变化，但须符合总方向。但是，如果越岭线只是在范围很小的山坡上展线，那么回头弯道必然多，线形必然差，路基稳定性不好，行车不便，在国防上也极其不利。

在越岭线的测设中，今后要进一步考虑采用隧道方案的问题。解放初期，筑路任务紧迫，交通量不大，山区公路很少采用隧道，这是当时的情况。今后，由于国家建设的发展，公路建设必须跟上形势，在某些山区公路上的交通量可能增长较大，应该考虑采用隧道。隧道在山区公路上使用有很大的优点，路线长度可以大大缩短，纵坡可以大大减小，而且十分隐蔽。采用隧道一般会增加造价，但是同时减少了营运费用。有时由于隧道可以大大缩短路线长度，采用隧道有可能减少工程费用。因此，越岭线与隧道方案应进行技术经济比较后决定。

第二节 公路平曲线

一、平曲线半径

1. 平曲线设计原理

在公路平面设计中，应在相郊的两公路直线段交汇点处，用曲线将其平顺地连接起来，以利于汽车安全正常地通过，这段曲线称为公路平曲线。公路沿线平曲线的平顺程度是不相同的，它受到曲线敷设处的技术条件的限制。公路平曲线是鉴定公路工程质量优劣的重要技

术指标之一，因此必须掌握平曲线设计原理。

平曲线的技术设计原理是确保汽车沿公路前进时，其横向与纵向能同时处于安全正常状态。纵向的安全正常状态，是设计中确保汽车的制动（刹车与停车），合理视野（视距）来实现的。这部分将在本章的后面分析。本节侧重于分析横向安全正常行驶问题。

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，车轮的磨损，机件磨损等）尽可能小，同时，应力求延长路面使用时间。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。

设平曲线段上公路路基断面如图2-1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 $i_1 = \tan \alpha$ 。汽车以车速 v (m/s) 匀速行驶于内外侧路面上，车重为 G (N)，汽车重心 O 处设直角坐标 XOY ，其中 OX 轴与路面平行。汽车质量为 m (kg)，重力加速度为 $g = 9.81$ (m/s²)，则汽车上的作用力有：

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

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

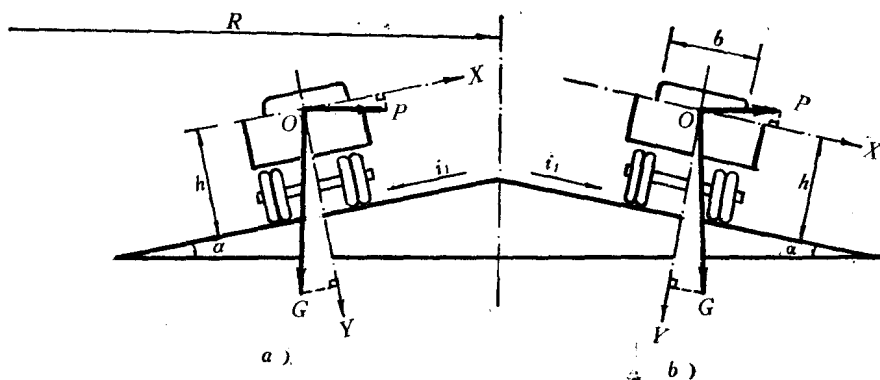


图2-1 汽车在曲线上行驶的横向力
a) 内侧；b) 外侧

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时，则：

$$\begin{aligned} X &= P \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha \\ &= \frac{mv^2}{R} \cos \alpha - mg \sin \alpha \quad (\text{N}) \end{aligned}$$

在公路设计中， α 角实际上很小，可取 $\cos \alpha \approx 1.0$ ， $\sin \alpha \approx \tan \alpha = i_1$ ，则得：

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

为分析方便，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, 便可写成下式

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

这便是公路平曲线上确定曲线半径的公式。据上述原理不难推导出当车辆行驶于曲线外侧 (见图 2-1) 时, $R = \frac{V^2}{127(\mu - i_B)} (\text{m})$ 。由此可见, 公路平曲线上的曲线半径公式应表达成:

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

2. 曲线半径 R 的影响因素

(1) 行车的横向倾覆稳定性

假设图 2-1 中汽车重心高 $h(\text{m})$, 车轴上的轮距为 $b(\text{m})$, 重心在 $\frac{b}{2}$ 处。当汽车出现横向倾覆 (翻车) 危险的一瞬间时, 其横向力产生的倾覆力矩 $\mu \cdot h$ 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:

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

即

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

现代汽车设计中通常 $b \approx 2h$, 因此, 在翻车危险状态时,

$$\mu \geq 1.0$$

公路设计中所使用的 μ 值 (见表 2-6) 都远远小于 1.0, 因此, 平曲线上汽车的倾覆稳定是得到充分保证的。

(2) 行车的滑动稳定性

假设 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 可近似表示为:

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

或

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

导致汽车横向侧滑的力实际是横向作用力 X 或 μ , 阻止汽车侧滑的力是汽车横向抗滑力 F 或 φ_2 。当汽车刚出现横向侧滑的那一瞬间, 将有:

$$X \geq F$$

$$\mu \geq \varphi_2$$

若要防止出现汽车横向侧滑时, 设计中必须确保:

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