

中等专业学校试用教材

村镇道路 与桥涵

唐 凯 主 编 姚昱晨 戴庆星 编

中国建筑工程出版社

中等专业学校试用教材

村镇道路与桥涵

唐 凯 主编
姚昱晨 戴庆星 编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书主要阐述道路路线、交叉、路基、路面、桥涵的设计。

本书为城建系统中等专业学校村镇建设专业教材,适于城镇规划、市政工程、道路工程等专业师生学习使用,也可供从事道路工程专业人员学习参考。

中等专业学校试用教材
村镇道路与桥涵

唐 凯 主编
姚昱晨 戴庆星 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店总店科技发行所发行
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 17½ 插页: 1 字数: 423 千字

1993年11月第一版 1993年11月第一次印刷

印数: 1—5,100 册 定价: 8.35 元

ISBN 7—112—01988—5/G·183

(7011)

前 言

《村镇道路与桥涵》是根据建设部颁发的普通中等专业学校村镇建设专业毕业生培养规格、专业教学计划、《道路与桥涵》教学大纲、最新国家规范、标准与规定编写的。通过本课程的学习，要求能掌握道路线型的设计原理和计算方法，熟悉道路路基、路面交叉、桥梁和涵洞的组成与构造，达到在一般自然条件下，能基本处理道路设计与桥涵造型工作问题。

本教材在编写中结合城市道路与公路的特点，力求突出重点，简要实用，以便于学生掌握和运用。书中主要讲授道路组成与技术标准、路线、交叉、路基、路面、桥梁与涵洞等内容，并对各项讲授内容附有设计成果与设计图示。教学中可根据大纲和各方面实际情况选择或安排自学内容。

本教材第一、二、三、四章由浙江省建筑工业学校唐凯编写；第五章由浙江省建筑工业学校姚昱晨编写；第六章由浙江省交通学校戴庆星编写。全书由唐凯主编，交通部呼和浩特交通学校章余恩主审。经中等专业学校工民建与村镇建设专业教学指导委员会专家评审并推荐。

由于编者业务水平有限，书中存在的诸多不妥、错误之处，敬请读者们多提宝贵意见。

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 道路运输.....	1
第二节 道路组成.....	1
第三节 道路技术标准.....	3
第二章 路线.....	5
第一节 路线设计依据.....	5
第二节 道路平面设计.....	9
第三节 道路纵断面设计.....	33
第四节 道路横断面设计.....	47
第五节 道路选线与定线.....	61
第三章 道路交叉.....	72
第一节 平面交叉形式与交通.....	72
第二节 平面交叉设计.....	75
第三节 立体交叉简介.....	88
第四节 道路与其它路线交叉要求.....	91
第四章 路基.....	93
第一节 路基的组成与要求.....	93
第二节 一般路基设计.....	95
第三节 路基排水.....	103
第四节 路基防护与加固.....	112
第五章 路面.....	127
第一节 路面结构层划分及分级分类.....	127
第二节 路面对路基的要求.....	130
第三节 柔性路面设计.....	139
第四节 柔性路面补强设计.....	169
第五节 水泥混凝土路面.....	175
第六章 桥涵.....	195
第一节 桥梁构成与设计.....	195
第二节 梁桥.....	209
第三节 拱桥.....	228
第四节 桥墩与桥台.....	241
第五节 涵洞.....	255
参考文献.....	274

第一章 绪 论

第一节 道 路 运 输

一、特点

交通运输包括铁路、道路、航空、水运和管道运输。道路运输是陆地运输的重要组成部分，是国民经济赖以发展的基础设施。道路运输与其它运输方式相比具有以下特点。

（一）机动灵活

道路运输可以直接从“门”到“门”，从产地到市场，做到直达运输，无需中转，节约时间和费用。

（二）适应性强、服务面广

道路布设能很好地适应各种地形情况，受地形、地物、地质方面影响较小。道路是城镇连接山区、乡村和边远地区的纽带。它也可以承担其它种类客、货运输的集散工作。

（三）速度快，效益好

汽车运输时速仅次于飞机，而道路工程投资相对较小，行车迅速、时间灵活，周转快，比其它任何运输方式有明显的优势。

二、作用

道路运输有方便、灵活、迅速、经济的特点，它在整个交通运输中占据主导地位，有着重要作用。

1. 道路运输可独立承担完成客、货运输服务。
2. 道路运输是联接其它各种类型运输方式不可缺少的重要组成。

三、发展

由于道路运输具备显著的优点，故道路设施得以快速发展。当前世界各国在道路运输方面的发展速度大大超过了铁路和其它运输方式，成为交通运输的主导运输方式。一般道路运输量占有所有交通运输总量的三分之二以上。道路运输水平往往是衡量国家综合国力，国民经济发展水平的重要标志。

随着道路建设及汽车工业的发展，我国的道路运输业有了较快发展。近年创造了大批低等级道路，建成一批新的道路和高等级道路。目前我国道路通车里程达104万km，桥梁14万座。道路客、货运量每年都有大幅度增加。

虽然，我国道路建设，道路运输有了很大发展，但对于幅员广大、人口众多的国家，现有道路远不能适应国民经济发展，不适应汽车运输发展的需求。为此我们要加倍努力工作，加快道路建设，为国家经济发展，为改革开放需要打下坚实基础。

第二节 道 路 组 成

道路是指为陆地交通运输服务，用于各种类型车辆、人行通行通道的总称。

一、分类

(一) 道路按使用任务、性质分

1. 公路

城镇管辖区外, 连接市、镇、县、乡、远郊工业矿区的道路部分。

2. 城市道路

城市、城镇管辖区范围内的道路部分。

3. 厂矿道路

在工厂、矿区、码头内部的专用道路部分。

4. 农村道路

联接乡、村、居民点间的道路部分。

5. 林区道路

用于林区内部的生产、生活专用道路部分。

(二) 按道路服务范围及道路网中地位分

1. 国道

全国性主要公路干线。

2. 省道

各省范围内的区域性公路。

3. 县道

各县范围内地方性公路。

二、道路组成

道路是三维空间的带状结构物, 为车辆与行人提供通行条件。其基本组成部分如下。

1. 路线

指道路中线的空中间位置。包括: 平面、纵断面、横断面三个部分, 由三部分形成了道路的整体。道路线型综合体现道路的外观形象, 是道路工程经济、外形美观、行车安全与舒适的关键。

2. 路基

是按路线位置和一定技术要求修筑的作为路面基础的带状构造物。它与路面一起共同承受行车荷载作用并抵御自然因素的侵蚀。路基是整个道路建筑的基础, 其工程质量的优劣是反映整个道路使用质量, 使用品质的主要方面。

3. 路面

用各种筑路材料铺筑在道路路基上直接承受车辆荷载的层状构造物。路面要适应行车荷载的直接作用和自然因素的影响。它包括: 面层、基层(承重层)、垫层。路面工程是反映道路使用质量, 工程经济的重要方面, 即要创造安全、舒适、平稳的行车条件, 又要有坚固、稳定、耐久的使用品质。

4. 交叉口

指多条道路的交汇位置。交叉口包括: 平面交叉口和立体交叉口。交叉口是道路交通的重要部位, 它的设置首先应确保车辆与行人安全、迅速通行, 同时应使排水畅通和外形美观。

5. 桥涵

是道路跨越河流及各种障碍的人工构筑物。它包括：基础、墩台、桥跨结构、桥面系等，分为各种形式的大、中、小桥与涵洞。桥涵建设要考虑各种荷载、地形、地质、水文等条件，因地制宜，就地取材，经济地选择桥型及桥跨结构，做到坚固、安全、经济、美观。

6. 隧道

指在地面以下的供车辆、行人通行的建筑物。它由衬砌、支撑、通风、排水、照明等设施组成的地下通道。隧道种类有：城市隧道；水底隧道；过岭隧道。隧道工程施工困难，造价高，应充分选择利用良好的地质、地形、水文地质条件，确定方案应从运输经济，工程经济，行车安全，道路等级各方面综合分析比较后审慎选择。

7. 附属设施

保障道路行车、行人安全、舒适、迅速通行的道路配套服务设施。它包括：

(1) 安全防护设施：护栏，护墙，分隔带，隔离墩等。

(2) 管理养护设施：路面标线，交通岛，交通标志（指示、警告、禁令标志），交通监控系统，通讯设备，收费站，道班房等。

(3) 环境保护设施：绿化带、隔音墙，噪声、空气、测速等监控设施。

(4) 服务设施：照明，加油站，饭店，修车厂、旅店，停车场，商店等。

随着道路交通的发展，现代道路设施根据实际需要将会进一步的发展。重视道路建筑的美化、绿化，创造良好的行车环境，提高行车速度，确保行车安全是道路建设的目标。

第三节 道路技术标准

道路工程是包括道路的规划、勘测、设计、施工、养护等过程的应用科学技术。由于各条道路任务、目的、功能及所在地区的自然条件不同，对每条道路有不同的设计要求。为了满足交通运输发展，国家建设需要，合理地使用工程建设投资，国家制定颁布了《公路工程技术标准》和《城市道路设计规范》等，作为道路工程规划、勘测、设计、施工、养护全过程技术执行标准与质量控制方面的法律依据。

一、公路分级标准

根据公路使用任务、性质及交通量，“公路标准”规定我国新建或改建公路分为：汽车专用公路和一般公路两大类，其中又分有：高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级。各级公路分级、分类及主要技术指标见表1-1。

二、城市道路分类标准

城市道路按其在道路系统中的地位、交通功能及服务功能规定我国城市道路划分为：快速路、主干路、次干路、支路四大类，其中除快速路外，其余各类道路按城市规模，交通组成、地形情况分为：I、II、III级。我国城市道路分类、分级及主要技术指标见表1-2。

道路技术标准体现了我国道路建设方针、政策和技术要求。因此，在道路规划、设计和施工中应遵守“标准”中的各项规定。值得提出的是，具体运用各项指标时，应从实际出发，在不过份增加工程量的情况下，尽可能采用较高的技术指标，以改善行车条件提高运输效益，并利于今后道路改建。

各级公路主要技术指标汇总

表 1-1

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
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	

我国城市道路分类及主要技术指标

表 1-2

类 别	项 目					
	级别	设计车速(km/h)	双向机动车道数(条)	机动车道宽度(m)	分隔带设置	横断面采用型式
快速路		80	≥4	3.75~4	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	3.5~3.75	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	3.5~3.75	可 设	单、双、三
	II	30~40	2~4	3.5~3.75	不 设	单 幅 路
	III	20~30	2	3.5	不 设	单 幅 路
支 路	I	30~40	2	3.5	不 设	单 幅 路
	II	20~30	2	3.25~3.5	不 设	单 幅 路
	III	20	2	3.0~3.5	不 设	单 幅 路

注：① 除快速路外，各类道路可根据所在城市的规模大小、政治经济发展、人口密度、土地开发利用、设计交通量、车辆组成、地形、旧城市改建、扩建等情况分成 I、II、III 三级。

② 改建道路根据地形、地物限制、房屋拆迁、占地困难等具体情况，选用表中适当的道路等级。

③ 省会、自治区首府所在地的中、小城市，其道路等级可根据实际情况提高一级。

④ 各城市文化街、商业街，根据具体情况参照表中次干路及支路的标准设计。

第二章 路 线

第一节 路线设计依据

一、基本要求

道路各组成部分是以既定路线为基础, 并进行其它各项设计的。设计中道路技术“标准”的运用和使用质量首先是通过路线设计得以具体体现。

路线设计是决定道路空间位置与外观、几何形状与各部分尺寸的设计。它应从平面、纵断面、横断面三方面综合考虑, 需要有科学和美观两方面的严格要求, 把人、车、路和自然环境作为一个整体, 使设计方案做到平面顺适、纵坡均衡、断面合理。路线设计应在安全、迅速、经济、舒适、美观原则下达到以下基本要求:

1. 道路线形应使驾驶员和乘客有充分的安全感和舒适感。
2. 行车驾驶员的视觉和心理反应良好。
3. 道路线形应与自然环境和景观协调。
4. 道路线形应保持连续和均衡。
5. 路线设计应做到工程方面和运营方面经济。

二、设计依据

新建和改建道路设计是以道路的使用任务、性质、地位及交通功能为准则, 以道路行车交通量为条件来确定道路等级, 并根据道路所在地区的自然与地形条件, 合理地选择, 确定道路各部分几何设计指标。因此在路线设计中最基本的技术经济依据是: 交通量、设计车辆、地形、设计车速。

(一) 交通量

1. 道路交通量

道路交通量是指某道路横断面上单位时间内(每小时或每昼夜)通过车辆的往返数量。它是确定道路等级的主要经济依据。设计中常考虑的交通量有:

- (1) 年平均昼夜交通量, N_1 : 即一年365天交通量的平均值。
- (2) 最大日交通量, N_2 : 即一年365天中日交通量的最大值。
- (3) 高峰小时交通量, N_3 : 即一年中最大的小时交通量。
- (4) 昼夜平均小时交通量, N_4 : 即一昼夜中平均每小时交通量。
- (5) 30位小时交通量: 将一年8760小时交通量, 按大小顺序排列后, 第30位大小的小时交通量。如图2-1。

(6) 远景交通量: 道路在设计年限使用期末达到的交通量。

根据我国多年交通量变化规律的统计, 以上前四种交通量的关系为:

$$\textcircled{1} \frac{N_2}{N_1} = F_1 ; \quad \textcircled{2} \frac{N_3}{N_4} = F_2$$

式中 F_1 为年不平衡系数, 它反映我国一年中昼夜交通量变化情况, 一般取 $F_1 = 1.6$ 。

F_2 为日不平衡系数, 它反映我国一昼夜中小时交通量变化范围, 一般取 $F_2 = 2.1$ 。

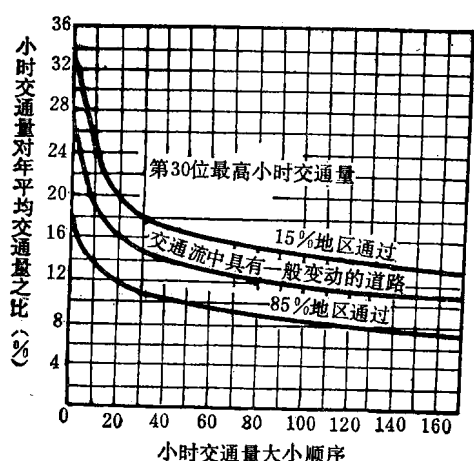


图 2-1 道路30位小时交通量

可由原有道路交通量的统计资料 (现行交通量与交通量增长数量) 按下述方法计算设计交通量:

① 按车辆每年平均增长量计算

$$N_n = N + n \cdot \Delta N \quad (2-1)$$

② 按车辆每年平均增长率对现行统计交通量计算

$$N_n = N(1 + n \cdot r) \quad (2-2)$$

③ 按车辆每年平均增长率对每年递增交通量计算

$$N_n = N(1 + r)^{n-1} \quad (2-3)$$

式中 N_n —— 设计年限末交通量 (辆/昼夜或辆/小时);

N —— 统计年度现有交通量 (辆/昼夜或辆/小时);

n —— 道路设计年限;

ΔN —— 统计年度的车辆年平均增长数量;

r —— 统计年度的车辆年平均增长率。

(2) 设计交通量的确定

确定道路等级主要决定于设计交通量的取值, 设计交通量的确定实际上是一个较为复杂的问题, 受国民经济发展、城镇建设、交通规划、工程投资等各方面因素制约。若设计交通量取值过低, 可能会造成道路上实际交通量经常超出, 而发生交通堵塞, 即不能满足行车要求, 工程投资也无法产生效益。而设计交通量取值过高, 道路上实际车流量很小, 资金不能充分利用, 无法发挥效益而造成浪费同样是不合理的。因此, 在工作中应全面分析研究各种交通因素, 并根据实际交通特点与交通情况选择计算方式, 确定设计交通量。

目前, 我国道路设计一般采用“年平均昼夜交通量”作为设计交通量, 国外多用30位小时交通量或昼夜小时交通量为设计交通量。无论采用哪种交通量为设计交通量, 都必须根据道路所在地区的交通实际状况出发, 全面地、切合实际地、合理地确定设计交通量, 同时应注意以下几点:

①道路应保证高峰小时交通安全、迅速地通过。

②道路应考虑满足设计年限末期及远景交通量的使用要求。

③应考虑道路上交通流量的季节性与道路吸引部分交通量的使用需要。

3. 车辆换算

道路上行驶的车辆类型各不相同，设计中必须把不同尺寸、不同种类、不同行驶速度的各种车辆的交通量换算成同一种“标准车型”的交通量作为计算设计交通量的依据。一般高等级道路（高速公路、一级公路、快速干道）以小汽车为标准车型；其它各级道路以载重车为标准车型。以小汽车和载重车为标准车型的车辆换算系数见表2-1和2-2。

以小汽车为标准的换算系数

表 2-1

车 辆 类 型	换 算 系 数
小 汽 车	1.0
小型载重汽车	1.5
3~5t载重汽车	2.0
5t以上载重汽车	2.5
中、小型公共汽车	2.5
大型公共汽车、无轨电车	3.0
摩托车、轻便摩托车	0.8

以载重汽车为标准的换算系数

表 2-2

车 辆 类 型	换 算 系 数
载重汽车(包括大卡车、重型汽车、中、小型公共汽车、三轮车、胶轮拖拉机)	1.0
带挂车的载重汽车(包括大型公共汽车、无轨电车)	1.5
大型平板车	2.0
小汽车(包括吉普车、小型客车、摩托车)	0.5

应当注意：上述所说设计交通量是指单位时间内道路横断面上通过标准车的数量，它是反映道路实际通过能力的量值，用来确定道路等级、行车道宽度尺寸、交叉口设计等。而在路面设计中用到的交通量，指的是一个车道上标准轴载的累计有效作用次数（当量轴次），用于计算路面结构强度。它表示车辆荷载重量对路面的作用程度。

（二）设计车辆

道路上行驶的车辆种类繁多、尺寸各异，因此道路的几何设计中应考虑车辆的形状与尺寸，选择有代表性的标准车型作为设计车道宽度、弯道加宽、道路净空等方面的设计依据。根据车辆的外廓尺寸，我国道路规定设计车辆标准尺寸如表2-3，其中设计车辆有：小客车、载重汽车、半挂车三类。

（三）地形

地形对道路线形设计和各项指标确定有很大影响，不但涉及工程投资，对行车安全、运输经济方面也大打折扣。为使路线设计适应地形变化，降低工程费用，满足行车要求，

设计车辆外廓尺寸

表 2-3

车 辆 类 型	项 目					
	总 长	总 宽	总 高	前 悬	轴 距	后 悬
	尺 寸 (m)					
小 客 车	6	1.8	2	0.8	3.8	1.4
载重汽车	12	2.5	4	1.5	6.5	4
半 挂 车	16	2.5	4	1.2	4+8.8	2

注：自行车的外廓尺寸采用宽0.75m，高2.00m。

公路“标准”中按平原微丘、山岭、重丘三大类地形规定了不同的设计指标。城市道路设计规范也根据地形情况，将同类道路做了级别上的调整，使各项技术指标适应地形变化。因此，路线设计与各技术指标的运用重点应放在地形对路线的限制和影响程度上，针对不同的地形，正确、合理运用标准指标。地形分类情况如下：

1. 平原微丘

指平原、盆地、高原平原等地形平坦无明显起伏，地面自然坡度在 3° 以下；起伏不大的丘岭，地面自然坡度在 20° 以下；地面相对高差小于100m等均属于微丘地形。平原微丘地形路线的平、纵线形布设方面均不受限制，路线设计指标较高。

2. 重丘

指连绵起伏的山丘，有较高的分水岭，地面自然横坡一般在 20° 以上。路线平、纵、横三方面设计大部分受地形限制，设计指标相对较低。

3. 山岭

指陡峻的山坡、山脊地形，地形变化复杂，地面自然坡度大部分在 20° 以上。路线平、纵、横三方面设计大部分受地形控制，设计指标低，防护工程多。

(四) 设计车速

设计车速也称计算行车速度，是决定道路几何设计指标的重要依据。道路的曲线半径、超高、加宽、视距、纵坡、车道宽等项指标无不与设计车速有关。当设计车速确定后，在该行驶车速下的道路各项对应的几何设计指标也随之而定。所以设计车速是道路设计的重要依据，是关键性指标。我国公路，城市道路的设计车速规定见表1-1和1-2。

应当特别指出：设计车速并不代表实际行车速度。道路上驾驶员是根据路况、交通情况、车辆性能、驾驶技术等多方面因素来选择行车速度的。所以在规定的设计车速下选择具体道路各项设计指标时，应尽可能考虑哪些可能会超过设计车速行驶的车辆安全，应尽量采用较高的设计指标。

设计车速是根据道路的使用任务和性质、交通量、地形等条件规定的，它对工程费用和运输效益两方面均有较大影响，确定该指标时应全面考虑各方面的因素并注意以下几点：

(1) 避免设计车速取值过高，造成在山岭及地形复杂地区工程费用过高。

(2) 防止设计车速选择太低，不能满足车辆行驶需要，超过设计车速行驶车辆过多，造成交通堵塞，增加交通事故而影响运输效益。

(3) 对于一条道路, 应采用同一设计车速, 以保证设计路段的技术指标均衡和行车的连续性。当地形或其它条件发生变化, 必须改变路段设计车速时, 变更后的设计车速和对应的技术指标与原指标相差愈小愈好。道路设计车速变更位置应选在交通量、地形变化较大处, 驾驶员容易判断处, 而且路段设计车速变更处应设足够里程长度的指标过渡段。

第二节 道路平面设计

一、平面线型要素

道路中心线和边线在地表面的投影为平面线形。它是由直线、圆曲线、缓和曲线三个要素组成。为使道路线型适应汽车行驶轨迹要求, 达到安全、舒适的目的, 公路平面线型设计常采用: 直线——缓和曲线——圆曲线——缓和曲线——直线的组合; 城市道路一般采用: 直线——圆曲线——直线的组合方式。

(一) 直线

直线是两点间距离最短的线段。它具有线形直捷, 布设方便, 行车视距好, 行车平稳等优点如图2-2。但直线不能适应地形变化, 不便于避让障碍, 直线过长容易使驾驶员产生麻痹而放松警惕, 发生行车事故, 对于夜间行车中尾追车辆距离判断不准, 对向行车灯光眩目不利安全。故路线设计中对长直线应限制使用。在城市道路、桥梁、交叉口、隧道等路段, 采用直线形显然是极为有利的。路线设计中对直线的设置要与地形、地物、环境相适应。

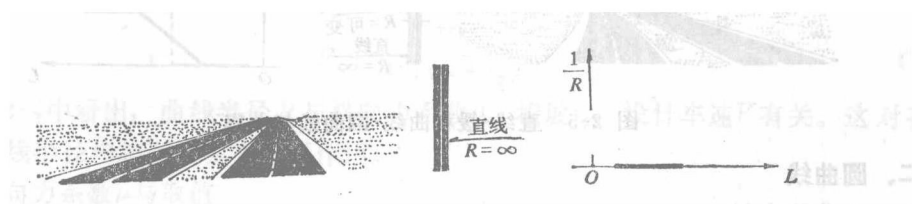


图 2-2 直线与曲率

(二) 圆曲线

圆曲线是道路平面走向改变方向或竖向改变坡度时所设置的连续两相邻直线段的圆弧曲线。圆曲线线形布设方便, 能很好地适应地形, 避让障碍, 与地形配合得当可获得圆滑、舒顺、美观的路线, 又能降低工程造价。而且, 这种线形使行车景观不断变化, 使驾驶员保持适度的警惕, 增加行车安全性, 也可起到诱导行车视线的作用如图2-3。但圆曲线的选择切不可迁就地形, 造成半径过小而影响行车安全。

(三) 缓和曲线



图 2-3 圆曲线与曲率

缓和曲线是平面线形中，在直线与圆曲线、圆曲线与圆曲线之间设置的曲率连续变化的曲线。它易于适应地形，能很好地与汽车行驶轨迹相适应，使线型连续、美观，但缓和曲线计算、布设较为繁琐。

在道路线形设计中若将直线与圆曲线连接如图2-4，会导致直线与圆曲线衔接点处产生曲率间断，而行车轨迹是连续的，若在平面线型设计中不采用缓和曲线，对于进出弯道行驶车辆，特别对那些以较高速度行驶的车辆来说，在行车安全、行车连续方面的影响将是明显的，甚至会使行车偏离车道而发生事故。所以，从道路线型必须适应行车轨迹方面来看，设置缓和曲线是十分必要的。

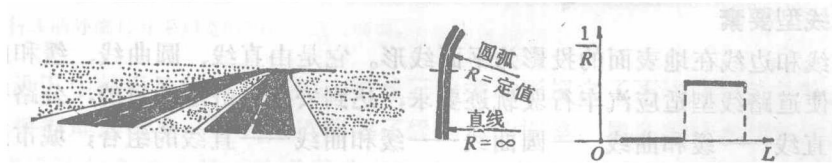


图 2-4 直线-圆曲线与曲率

缓和曲线曲率由零逐渐连续变化，符合匀速行驶汽车的行驶轨迹。在图 2-5 中可以看出，用缓和曲线将直线与圆曲线连接，提高了平面线型在视觉上的平顺性、行车方面的连续性，缓和了离心加速度变化对乘客的影响，驾驶员可从容顺适操纵方向。所以，缓和曲线的设置对行车安全、连续、线型美观等方面是有益的。



图 2-5 直线-缓和曲线-圆曲线与曲率

二、圆曲线

(一) 曲线半径

汽车在圆曲线路段行驶时，产生的离心力为：

$$F = \frac{Gv^2}{gR}$$

式中 F ——离心力 (N)；

G ——汽车重量 (N)；

v ——汽车行驶速度 (m/s)；

R ——曲线半径 (m)；

g ——重力加速度 ($= 9.81\text{m/s}^2$)。

由于汽车受到离心力的作用，将可能产生横向滑移或横向倾覆。所以汽车在小半径曲线路段行驶时，容易发生横向失稳。因此，在平面曲线设计中，应首先研究选择圆曲线半径。

曲线半径指标按图2-6所示，由车辆在曲线上行驶时受力情况建立平衡方程求得。

由图得平衡方程（按内侧行驶）为：

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

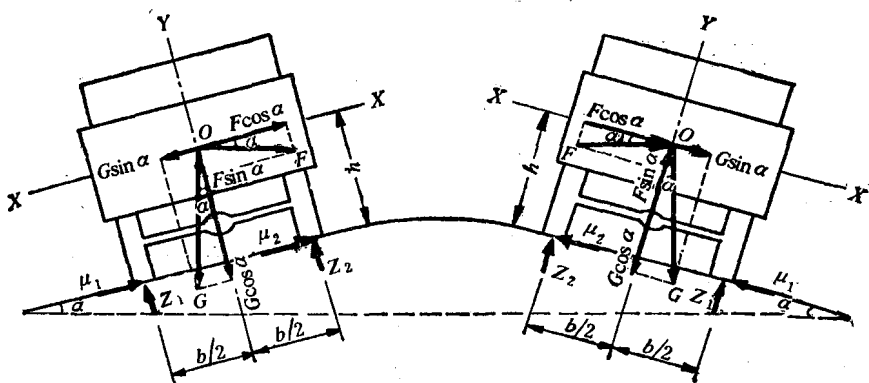


图 2-6 行车受力

方程两边同除以 $\cos \alpha$ ，且令 $i_y = \tan \alpha$

得：

$$F - G i_y = \mu (G + F i_y)$$

将 $F = \frac{G v^2}{g R}$ 代入上式，略去高阶小数 $v^2 \mu i_y$ 整理后得到：

$$R = \frac{v^2}{g(\mu + i_y)}$$

将车速 $v(\text{m/s})$ 化为 $V(\text{km/h})$ ， $g = 9.81$ 代入上式得：

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)} \quad (2-4)$$

从式2-4中看出，曲线半径 R 与横向力系数 μ ，横坡 i_y ，设计车速 V 有关。这对我们分析选择曲线半径与超高横坡有重要作用。

1. 横向力系数 μ 与取值

由式2-4得：

$$\mu = \frac{V^2}{127 R} - i_y$$

横向力系数 μ 表示单位车重所受到的横向力（离心力），它反映曲线上行车的横向稳定程度， μ 值越大越不利，其 μ 取值大小取决以下几方面。

(1) 行车安全。保证曲线路段行车与横向稳定的控制条件是：确保行车不产生横向滑移，即要求 μ 低于轮胎与路面所提供的横向摩擦系数 φ_0 。

$$\mu \leq \varphi_0$$

φ_0 值与路面种类及轮胎状况有关。在干燥路面上 $\varphi_0 = 0.4 \sim 0.8$ ，潮湿路面 $\varphi_0 = 0.25 \sim 0.4$ ，冰雪路面上 φ_0 一般小于 0.2，而对于黑色路面，不良路面状况时： $\mu \leq \varphi_0 = 0.2$ 。

(2) 操纵方便、行车经济。汽车在弯道上行驶，其驱动方向与行驶方向的不同形成一个偏移角，曲线半径越小，偏移角就越大。偏移角的增大会造成操纵困难，增加燃料消耗与轮胎磨损。这种消耗与 μ 值的关系见表2-4。

从操纵方便，减少消耗的角度看，横向力系数取值 $\mu < 0.15$ 为好。

表 2-4

μ	0	0.05	0.10	0.15	0.20
燃 料 消 耗	100	105	110	115	120
轮 胎 磨 损	100	160	220	300	390

(3) 行车平稳、舒适。汽车在弯道上行驶产生 μ 值过大,影响行车的稳定性,使司机和乘客感到紧张和不舒适。据测定,随着 μ 值的变化,乘客心里有如下反应:

当 $\mu < 0.10$ 时 不感到曲线存在,很平稳;

当 $\mu = 0.15$ 时 稍感到曲线存在,尚平稳;

当 $\mu = 0.20$ 时 感到曲线存在,稍感不稳;

当 $\mu = 0.35$ 时 感到曲线存在,不平稳;

当 $\mu > 0.4$ 时 非常不稳,站立不住。

从行车平稳、舒适方面应取 $\mu \leq 0.15$ 为宜。

综合上述,从行车安全、经济、舒适诸方面要求上,常取 $\mu \leq 0.15$,在设计中高速公路应取较低值,一般取 $\mu_{\max} = 0.15$ 为控制值。

2. 路面横坡 i_y 与取值

为了减小离心力的作用,一般将曲线路段路面做成外侧高,内侧低的单向横坡形式,并称为超高, i_y 称为超高值。确定最大超高值要考虑车辆在弯道慢行或停车时车辆不致沿路面向内滑移,特别是在有冰冻地区的山岭、重丘区的道路更要严格控制 i_y 值。按公路“标准”规定 $i_{y\max}$ 最大控制值是:高速公路和一级公路为10%;其它各级公路8%;有积雪寒冷地区为6%。

3. 极限最小半径

在指定车速(设计车速)下,曲线的最小半径值 $R_{\min}$ 决定于最大横向力系数 $\mu_{\max}$ 和最大横坡度 $i_{y\max}$,由式2-4式得极限半径公式:

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

【例】证三级公路山岭区极限半径指标。

查“标准” $V = 30\text{km/h}$, $i_{y\max} = 8\%$, $\mu_{\max} = 0.15$

则:

$$R_{\min} = \frac{30^2}{127(0.15 + 0.08)} = 30.8\text{m}$$

“标准”规定: $R_{\min} = 30\text{m}$, 得证。

从指标证明中应注意到,极限半径指标仅能保证以设计车速或低于设计车速行驶车辆的安全平稳。对于那些超过设计车速行驶的车辆来说安全是没有保障的。所以,极限半径指标是各级道路最低控制指标,在设计中应作为曲线半径的控制界限值,不应轻易采用。

我国各级公路圆曲线半径规定见表2-5,表中列有极限值,一般值和不设超高的最小半径值。路线设计中,为了确保行车安全和一定的舒适性,避免采用极限半径,应采用大于或等于表中一般最小半径值。在地形有利,不过分增加工程量与工程费用时,应尽可能采用不设超高的半径值,从改善行车条件,提高道路使用质量,对今后道路改建等级提高