

# 道桥 施工现场 技术基础

贾晓弟 王玥 等编著



DAQIAO

SHIGONG XIANCHANG

JISHU JICHU



化学工业出版社

U415.6  
—  
J249

# 道桥 施工现场 技术基础

贾晓弟 王玥 等编著



DAOQIAO

SHIGONG XIANCHANG

JISHU JICHU

U415.6

J249



化学工业出版社

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

道桥施工现场技术基础/贾晓弟, 王玥等编著. —北京:  
化学工业出版社, 2010. 1  
ISBN 978-7-122-07204-7

I. 道… II. ①贾…②王… III. ①道路工程-施工技术  
②桥梁工程-施工技术 IV. ①U415.6②U445.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 217995 号

---

责任编辑: 朱 彤  
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 王 琪  
装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 化学工业出版社印刷厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$  字数 486 千字 — 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

发展是当前人类面临的重要挑战,现代世界正从工业社会向信息社会发展,信息社会的发展要求交通和信息工具高速化、现代化,高速交通工具的出现推动了道路和桥梁工程的快速发展,也促使道桥施工现场技术突飞猛进。

近几年来,我国道桥事业发展较快,国家对道桥工程建设的投资规模逐年增加。由于我国地质条件复杂,道桥施工较一般建筑施工更为复杂,更容易存在质量隐患。本书针对道桥工程施工需要,对道桥工程施工中的基本知识、工程质量控制的主要环节、关键技术及常见问题,依据新规范、技术标准,结合工程实践,用通俗语言进行解答,力求在反映新技术、新方法、新材料、新工艺的同时,做到理论联系实际和精练、实用效能。本书既可作为道桥施工一线人员的技术参考书,也可作为道桥施工行业的培训教材,还可供高等院校及高职高专院校道桥类专业学生学习和参考。

本书主要介绍道路线形,边坡、支挡结构,路基工程施工,路面工程施工,路基病害防治与排水,道路施工中常见工业废料的利用,桥梁工程中预制应力混凝土结构施工及桥梁施工一般工艺等几方面内容,还附有大量实例,供广大读者在设计、施工实践中参考使用。本书第1、5章由河北理工大学贾晓弟编写,第3、6章由中国纺织工业设计院王玥编写,第2、4章由中冶京唐公司路桥分公司李晓杰编写,第7、8章由河北理工大学白文彪编写。全书由贾晓弟负责修改、统稿和定稿。

由于道桥施工技术浩瀚无尽、博大精深,加之作者编写时间有限,书中难免有不足之处,诚望广大读者予以批评、指正。

编 者  
2009年12月

# 目 录

<b>第一章 道路线形</b> .....	1
<b>第一节 圆曲线和缓和曲线</b> .....	1
一、圆曲线 .....	1
二、缓和曲线 .....	5
<b>第二节 道路的超高和加宽</b> .....	8
一、超高 .....	8
二、加宽 .....	9
<b>第三节 竖曲线</b> .....	10
一、凸形竖曲线 .....	10
二、凹形竖曲线 .....	12
<b>第四节 平曲线测设</b> .....	13
一、圆曲线(偏角法) .....	13
二、缓和曲线测设 .....	15
三、经纬仪支在缓和曲线上任意点测设 .....	18
<b>第五节 竖曲线测设</b> .....	18
<b>第二章 边坡、支挡结构</b> .....	20
<b>第一节 土基干湿类型及影响</b> .....	20
一、公路土的分类及性质 .....	20
二、公路的自然区划 .....	26
三、路基的干湿类型 .....	26
四、土基水的形态和变迁 .....	28
五、路基高度 .....	29
六、地带类型 .....	32
<b>第二节 边坡稳定方法</b> .....	32
一、稳定性验算概述 .....	32
二、边坡稳定性的力学验算 .....	36
三、浸水路堤边坡稳定性验算 .....	41
四、陡坡路堤整体稳定性验算 .....	45
<b>第三节 支挡结构</b> .....	49
一、路基的防护和加固 .....	49

二、挡土墙设计 .....	58
第四节 道路边坡控制 .....	77
一、工程地质需要调查的内容 .....	77
二、黏性土和砂类土路堑边坡设计 .....	77
三、碎石类土的路堑边坡 .....	78
四、岩石路堑边坡设计 .....	79
<b>第三章 路基工程施工 .....</b>	<b>82</b>
第一节 应力工作 .....	82
一、路面设计的极限标准和强度理论 .....	82
二、荷载对路面的作用 .....	86
第二节 路基施工 .....	87
一、路基施工的准备工作的 .....	87
二、土质路基的施工 .....	95
三、石质路基的施工 .....	113
<b>第四章 路面工程施工 .....</b>	<b>135</b>
第一节 路面结构的划分 .....	135
一、各种结构的划分 .....	135
二、各结构层的作用 .....	135
第二节 沥青混凝土路面 .....	136
一、概述 .....	136
二、材料要求 .....	137
三、沥青混凝土路面的施工 .....	138
第三节 水泥混凝土路面 .....	140
一、概述 .....	140
二、设计条件 .....	141
三、水泥混凝土路面结构层组合设计 .....	145
四、水泥混凝土路面板厚计算 .....	147
五、水泥混凝土路面的构造 .....	150
六、钢筋混凝土路面设计 .....	155
第四节 稳定土与工业废渣路面 .....	156
一、概述 .....	156
二、石灰稳定土路面 .....	157
三、石灰土路面施工 .....	158
四、其他稳定土路面及工业废渣路面 .....	162
五、关于铺土、铺灰厚度计算 .....	165
第五节 碎(砾)石路面 .....	167
一、碎石路面 .....	167
二、级配碎石路面 .....	170

三、碎(砾)石路面的养护	175
--------------	-----

## 第五章 路基病害防治与排水 178

第一节 路基的养护和维修	178
一、路基各组成部分的养护	178
二、路基的加固和改善	179
三、路基的翻浆防治	179
四、路基的滑坍、崩塌和缺口的防治	182
五、特殊地区的路基养护	184
第二节 路基排水	185
一、路基排水的目的及设计一般原则	185
二、地面排水设计	186
三、排水沟渠的计算	189
四、地下排水设计	192
五、排水系统设计	196

## 第六章 道路施工中常见工业废料的利用 198

第一节 概述	198
一、采矿工业废料	198
二、硫酸盐、磷酸盐、铝、水泥生产工业废料	198
三、燃煤工业废料	198
四、冶金工业矿渣	199
第二节 粉煤灰	199
一、来源及分类	199
二、化学及矿相组成	199
三、物理及力学性能	199
四、强度活性及其激发	201
五、技术品质要求	203
六、工程应用	203
第三节 煤矸石	203
一、来源及分类	203
二、化学及矿相组成	204
三、强度活性及其影响因素	205
四、物理及力学性能	206
五、工程应用及技术要求	206
第四节 冶金矿渣	207
一、矿渣的化学成分和矿物成分	207
二、矿渣的稳定性	207
三、矿渣的物理及力学性能	208
第五节 磷石膏	208

一、磷石膏来源	208
二、化学及矿相组成	208
三、强度活性及其活化	208
四、工程应用及技术要求	209

## 第七章 桥梁工程中预应力混凝土结构施工 210

第一节 先张法	210
一、先张法施工设备	211
二、先张法施工工艺	217
第二节 后张法	220
一、锚具的预应力筋的制作	220
二、张拉机具设备	229
三、后张法施工工艺	232
第三节 无黏结预应力筋施工工艺	236
一、无黏结预应力筋制作	236
二、无黏结预应力筋施工工艺	237
第四节 整体预应力结构施工	238
一、整体预应力框架结构施工	239
二、整体预应力板柱结构施工	240

## 第八章 桥梁施工 242

第一节 施工方法和适用范围	242
一、桥梁基础施工	242
二、桥梁上部结构的施工	242
三、施工方法的选择	245
第二节 常备式结构	246
一、钢板桩	246
二、钢管脚手架(支架)	246
三、拼装式常备模板	246
四、万能杆件	247
五、贝雷梁	251
第三节 墩基础	253
一、混凝土墩台、石砌墩台施工	253
二、装配式墩台施工	259
三、滑动模板施工	265
四、支座安设	273
五、墩台附属工程	274

## 参考文献 276



# 第一章 道路线形

道路是一个三维空间实体，是带状的空间结构物。其设计主要包括线路的走向和线形设计两个方面，它们是既密切联系又相互制约的，在路线设计中应合理利用地形，正确运用技术标准，保证线形的均衡，道路的线形应在平纵横三个方面进行综合设计。保证线形各元素间协调一致，这三个方面不仅要满足汽车动力性能要求，而且还要满足驾驶员视觉、心理要求，这对保证汽车行驶的安全舒顺具有极其重要的作用。

道路的平面线形是指道路中心线投影对平面上的几何形状尺寸，平面线形设计时如受地形地物等障碍而发生转折，就需要设置圆曲线，为保证行车的安全舒顺在直线和圆曲线之间，或不同半径的两条同曲线之间要插入缓和曲线，圆曲线、缓和曲线统称为平曲线。路线设计应妥善处理近期和远期与整体和局部关系，结合地形地物、地质水文、气象和筑路材料等自然条件，充分考虑农业环保等方面要求，注意铁路、航运、空运、管道等运输的配合协调，通过综合分析，认真进行方案对比，不同的线路方案应对其工程造价及对自然环境和社会环境的影响进行充分论证和分析，使其达到技术经济与环境效益相统一。

## 第一节 圆曲线和缓和曲线

### 一、圆曲线

#### 1. 曲线设计原理

公路平面设计中在相交的两直线路段交叉处用曲线将其平顺地连接起来以利于汽车安全正常通过，这段曲线称为平曲线。

平曲线的组成可分为两类：单式曲线和复式曲线。

(1) 单式曲线 简单或单独的平曲线是一种常见的设计形式，通常有三种组成。

① 圆曲线 仅由一条圆曲线组成。

② 圆缓曲线 由一条圆曲线和前后两条缓和曲线组成。

③ 缓和曲线 是圆缓曲线的特例，即圆曲线为零的曲线。

(2) 复式曲线 两条或两条以上单式曲线首尾相连称为复式曲线。一般只在地形地物或客观条件复杂的情况下使用这种形式。

公路沿线的平顺程度是不相同的，它受曲线敷设处技术条件的限制，公路的平曲线是鉴定公路工程的重要技术指标，平曲线的原理是确保汽车沿公路前进时，其横向和纵向能同时处于安全正常状态，纵向安全状态是指确保汽车的制动和合理的视野（视距）来实现的，横向

安全状态是指确保汽车无侧滑和倾覆的危险及汽车和乘客均处于平稳状态；同时设计保证乘客有一定的舒适性，应力求额外消耗小（燃料消耗、轮胎磨损等）。

## 2. 圆曲线半径的确定

汽车在曲线上行驶其安全正常状态主要指横向，而横向安全正常状态和汽车行驶的受力状态有关，这时汽车除受重力影响外，还受离心力影响，使汽车产生向外侧滑和倾覆，如图 1-1 所示。

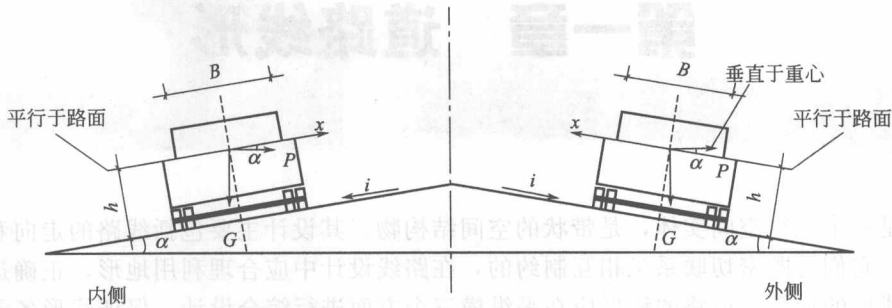


图 1-1 汽车在曲线上行驶的横向力

当汽车在半径为  $R$  的曲线外侧行驶时汽车上的作用力为：

$$\text{离心力} \quad P = \frac{mv^2}{R} = \frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R}$$

$$\text{重力} \quad G = mg$$

此时，汽车在曲线上行驶平行路面所受横向力（外侧）为：

$$\begin{aligned} X &= P \cos \alpha + G \sin \alpha \\ &= \frac{mv^2}{R} \cos \alpha + mg \sin \alpha \end{aligned}$$

式中  $v$ ——汽车速度；

$\alpha$ ——路面横坡角。

当  $\alpha$  角很小时（实际公路横坡角很小）取：

$$\cos \alpha = 1, \sin \alpha = \tan \alpha$$

即

$$\cos \alpha = 1, \sin \alpha = \tan \alpha = i \quad (i \text{ 为路面横坡度})$$

则得

$$X = \frac{mv^2}{R} + mgi_1$$

为准确反映汽车在曲线上行驶稳定、安全、舒适程度，常用单位车重，所受横向力表示为：

$$\frac{X}{G} = \frac{mv^2}{mgR} + \frac{mgi_1}{mg} = \frac{v^2}{gR} + i_1 \quad (1-1)$$

令横向力系数  $\mu = \frac{X}{G}$ ，则：

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

由上式可得出半径  $R$  越大， $\mu$  越小，汽车在曲线上行驶的稳定性越好。

由上式得出圆曲线  $R$  的计算公式为：

$$\mu = \frac{v^2}{gR} + i_1$$

$$\mu - i_1 = \frac{v^2}{gR}$$

$$R = \frac{v^2}{g(\mu - i_1)} \quad (1-3)$$

当将车速  $v(\text{m/s})$  换算为  $V(\text{km/h})$ ,  $g(\text{m/s})$  换算为  $G(\text{km/h})$ , 则可写成:

$$R = \frac{v^2}{127(\mu - i_1)} \quad (\text{外侧})$$

按上述原理可推算出汽车行驶于曲线内侧时的半径为:

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + i_1)} \quad (\text{内侧})$$

由此可得出圆曲线的半径计算公式为:

$$R = \frac{v^2}{127(\mu \pm i_1)} \quad (1-4)$$

### 3. 曲线半径 $R$ 的影响因素 (横向、侧向滑动稳定)

(1) 行车的横向倾覆稳定性 (图 1-1) 忽略摩擦力  $F$  的影响, 则平衡时:

$$Xh = \frac{b}{2}G, \text{ 即 } \mu = \frac{b}{2h} \quad \left(\mu = \frac{X}{G}\right)$$

由上式得出汽车不产生倾覆时:

$$\mu \leq \frac{b}{2h} \quad (1-5)$$

由于现代汽车设计轮距一般为车重心的 2 倍, 所以  $\mu \leq 1.0$  能确保横向稳定。

(2) 行车的滑动稳定 假设  $f$  是车轮和路面的摩擦系数, 则横向抗滑力  $F$  为:

$$F = fG = fmg$$

$$f = \frac{F}{G} = \frac{F}{mg}$$

导致汽车横向侧滑的力是横向作用力  $X$ , 阻止汽车侧滑的力是汽车横向抗滑力  $F$ , 所以其稳定条件为:

$$X \leq F$$

$$\mu \leq f$$

若要防止汽车横向侧滑, 设计中必须保证:

$$\mu \leq f \quad (1-6)$$

即

$$R \geq \frac{v^2}{g(f \pm i_1)} = \frac{v^2}{127(f \pm i_1)} \quad (1-7)$$

根据上式的原理可以得出公路设计中必须确保任何情况下都需  $\mu \leq f$ , 据此还可作为选择路面的依据之一, 同时还反映了已知路面类型后选择平曲线半径  $R$  的一种途径, 所以  $f$  是平曲线设计的一个重要因素, 也是路面质量的一个重要指标, 除上述外还应考虑确保乘车旅客的舒适性和曲线上行车的额外损耗, 见表 1-1。

表 1-1 燃料消耗、轮胎磨损与  $\mu$  值的关系

$\mu$	燃料消耗/%	轮胎磨损/%
0	100	100
0.05	105	160
0.10	110	220
0.15	115	300
0.20	120	390

### 4. 平曲线最小半径 $R$

我国各级公路的平曲线半径有以下三个规定值。

① 极限最小半径  $R_M$ 。

② 一般最小半径  $R_r$ 。

③ 不设超高最小半径  $R_T$ 。

它们是由  $R = v^2 / [127(\mu + i_1)]$  确定的。

平曲线使用半径  $R$  值的确定原则是，满足经济实用和技术合理要求，力求使用较大的平曲线半径值，原则如下。

① 力求使  $R > R_T$ 。

② 一般情况应使  $R_T \geq R > R_r$ 。

③ 条件十分困难，迫不得已，才使  $R_r \geq R > R_M$ 。

④ 万不得已，经反复考虑，才可在个别处使  $R = R_M$  (表 1-2)。

表 1-2 各级公路平曲线半径  $R$  和  $i_B$ 、 $\mu_0$ 、 $\mu$  值

公路等级	高速公路		一		二		三		四		
	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	$V/(km/h)$	120	80	100	60	80	40	60	30	40	20
	$R_M$	650	250	400	125	250	60	125	30	60	15
	$i_B$	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	$\mu_0$	0.1814	0.2016	0.1969	0.2268	0.1816	0.1900	0.2068	0.2162	0.1900	0.1900
	$\mu$	0.0814	0.1016	0.0969	0.1268	0.1016	0.1100	0.1068	0.1362	0.1100	0.1100
一般最小半径	$R_r$	1000	400	700	200	400	100	200	65	100	30
	$i_B$	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	$\mu_0$	0.1134	0.1260	0.1125	0.1417	0.1260	0.1260	0.1417	0.1090	0.1260	0.1050
	$\mu$	0.0534	0.0660	0.0525	0.0817	0.0660	0.0660	0.0817	0.0490	0.0660	0.0450
推荐最小半径	$R_T$	5500	2500	4000	1500	2500	600	1500	350	600	150
	$i_B$	-0.015	-0.150	-0.015	-0.015	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
	$\mu_0$	0.0203	0.0202	0.0197	0.0189	0.0202	0.0210	0.0289	0.0202	0.0210	0.0210
	$\mu$	0.0356	0.0352	0.0347	0.0339	0.0402	0.0410	0.0489	0.0402	0.0510	0.0510

注：表中平曲线半径的单位为 m。

### 5. 平曲线的最小长度

汽车在道路平曲线上行驶，驾驶员操作方向盘频繁而紧张。在高速行驶时是很危险的，同时如曲线过短，离心加速度变化率较大，乘客心理状态不好，而且转角小于  $7^\circ$  时，曲线长度会显得比实际长度短，对行车安全不利，所以要保证必要的曲线长度（缓和曲线和圆曲线）。

(1) 按 6s 确定平曲线长度（平曲线最小长度）

$$L = vt = 6 \frac{V}{3.6} = 1.67V \quad (1-8)$$

(2) 按离心加速度变化率确定曲线长度

$$P = \frac{v^2}{Rt}$$

$$L = 2vt = 2v \frac{v^2}{PR} = 2 \frac{v^3}{(3.6)^3 PR} \quad (1-9)$$

(3) 按视觉的要求确定曲线长度 当曲线转角小于  $7^\circ$ ，曲线长度从视觉上会被误认比实际长度短，给驾驶员造成急转弯的错觉。为避免造成视觉错误，转角小于  $7^\circ$  的曲线必须设置足够的长度。

## 6. 圆曲线的元素计算

圆曲线元素包括曲线半径  $R$ 、曲线长度  $L$ 、切线长度  $T$  及外矢矩  $E$  等,  $R$  的确定按上述方法, 转角  $\alpha$  可以实测或在图上量出。

$$\text{曲线长度} \quad L = R \frac{\pi}{180^\circ} = 0.01745R\alpha \quad (1-10)$$

$$\text{切线长度} \quad T = R \tan \frac{\alpha}{2} \quad (1-11)$$

$$\text{外矢矩} \quad E = R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = R \tan^2 \frac{\alpha}{4} \quad (1-12)$$

$$\text{弦长 } C \text{ 所对圆心角} \quad \frac{C}{R} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \alpha = \frac{C}{R} \times 57.295 \quad (1-13)$$

## 二、缓和曲线

### 1. 缓和曲线的作用

(1) 缓和曲线的定义 当汽车由直线进入圆曲线时驾驶员必须转动方向盘, 以逐渐改变前轮的转向角, 前轮的逐渐转向是在进入圆曲线前的某段路程内完成的。或者说, 在两个半径相差较大的圆曲线之间行驶的某段路程, 而此时汽车行驶轨道的曲率半径是在不断变化的, 人们将这段曲线称为缓和曲线, 如图 1-2 所示。

缓和曲线的形式有回旋线、双纽线、多圆弧复合线、三次抛物线等。

而现在我国和世界各国的高速公路上普遍使用的是回旋线, 这种曲线是当汽车匀速行驶、方向盘匀速转动时从汽车行驶轨迹出发而形成的一种较合理曲线。汽车由直线到圆曲线上行驶时会产生下列两个不利因素。

① 汽车前轮的转向角由直线上的零急变为和半径  $R$  相适应的  $\varphi$ , 或反之由  $\varphi$  急变为零, 方向盘操作过急对驾驶不利。

② 汽车的行驶半径  $R$  由直线的无穷大急变为  $R$  时, 离心力激增, 反之激降。将使汽车横向稳定性降低, 使舒适性受到影响。

行车速度越高, 半径越小, 上述的影响越大, 为此在平面线形布置时, 应在直线和圆曲线之间加入第三要素即缓和曲线, 此外缓和曲线是实现超高和加宽的圆滑所必需的曲线。

(2) 缓和曲线有四个作用

- ① 使汽车能较为安全舒顺地在曲率变化的曲线上行驶, 公路的线形更顺畅美观。
- ② 使离心加速度有一个变化的过程。
- ③ 使公路由直线段的路拱横坡向弯道段的超高横坡过渡, 是横向坡度变化的缓和段。
- ④ 使公路由直线段标准宽向曲线段部分加宽之间的渐变过渡。

所以缓和曲线是道路线形中较高级的曲线, 尤其适用于高速公路。

### 2. 缓和曲线的线形

(1) 回旋线的定义 回旋线是曲率随曲线长度的增长而成正比例增加的一种曲线。

设  $P$  是回旋线上的任意点, 则有:

$$\frac{1}{\rho} = CL \quad (1-14)$$

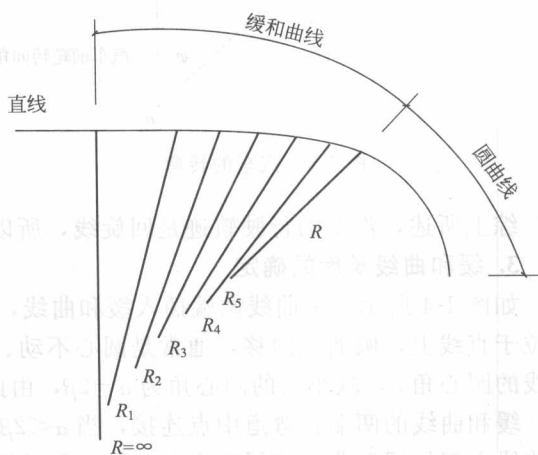


图 1-2 曲率变化示意图

式中  $\rho$ ——P 点的曲线半径；

$L$ ——回旋线起点至 P 点的曲线长度；

$C$ ——常数。

设  $1/C=A^2$  为回旋线参数，则代入上式得：

$$A^2 = \rho L$$

(2) 汽车行驶轨迹和回旋线 如图 1-3 所示，汽车在缓和曲线上匀速行驶，速度为  $v$ ，行驶距离为  $L_0$ ，行驶时间为  $t$ ，方向盘以角速度  $\omega$  均匀转动，则汽车前轮转向角  $\varphi$  和方向盘转向角之间关系为：

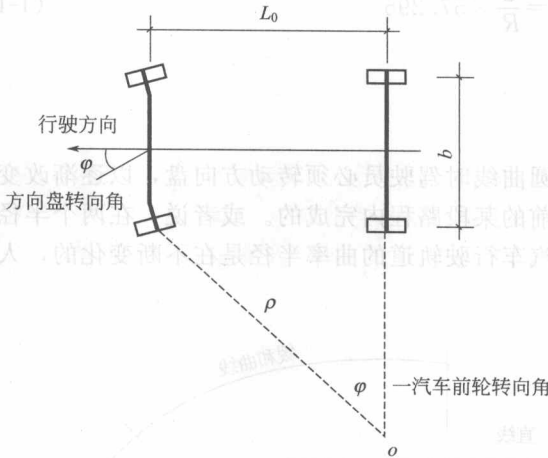


图 1-3 汽车的转弯

$$\varphi = K\varphi = K\omega t (K \leq 1)$$

$$\rho = \frac{L_0}{\sin\varphi} \approx \frac{L_0}{\varphi} = \frac{L_0}{K\omega t}$$

$$L = vt = v \frac{L_0}{K\omega\rho} = v \frac{L_0}{K\omega} \times \frac{1}{\rho} = \frac{C}{\rho}$$

令  $A^2 = vL_0/K\omega = C$  (常数)，则：

$$L = \frac{A^2}{\rho}$$

在缓和曲线的终点处：

$$\rho = R \text{ 时, } l = L$$

$$\text{则 } L = \frac{C}{R}$$

$$\text{即 } RL = C$$

令  $C = A^2$ ，则：

$$RL = A^2$$

综上所述，汽车的行驶轨迹是回旋线，所以技术标准规定，缓和曲线采用回旋线。

### 3. 缓和曲线长度的确定

如图 1-4 所示，平曲线两端插入缓和曲线，必须将原有的圆曲线内移才能使缓和曲线的起点位于直线上，圆曲线内移，通常是圆心不动、半径减小，按回旋线设置缓和曲线后将减小圆曲线的圆心角  $\alpha$ ，减小后的圆心角为  $\alpha - 2\beta$ ，由此可见设置缓和曲线的条件为  $\alpha \geq 2\beta$ ，当  $\alpha = 2\beta$  时，缓和曲线的两端在弯道中点连接，当  $\alpha < 2\beta$  时则不能设缓和曲线。从上述可知，在直线和圆曲线之间加缓和曲线能缓和汽车运行，但过短的缓和曲线长度将使曲率半径的变化和方向盘操作过急，所以对缓和曲线长度的最小界限目前世界各国认识不一致，但有广泛影响的有以下三种方法。

(1) 按离心加速度变化率确定缓和曲线长度 限制汽车由直线进入圆曲线的过程中，离心加速度不要变化过大，以此提高乘客的适应性和改善汽车的驾驶条件。如果汽车以匀速  $V$  由直线进入半径为  $R$  的曲线，其离心加速度  $a$  将由零增加到  $a = V^2/R$  (这时为定值)，为使离心加速度  $a$  不至于由零骤然变到  $V^2/R$ ，而设置一段足够长度的缓和曲线予以过渡 (在缓和曲线上离心加速度以平均值算)。

按平均值算，则离心加速度变化率为：

$$\rho = \frac{a}{t} = \frac{v^2}{R} \times \frac{1}{t}$$

设  $t$  为汽车经过缓和曲线的时间，则：

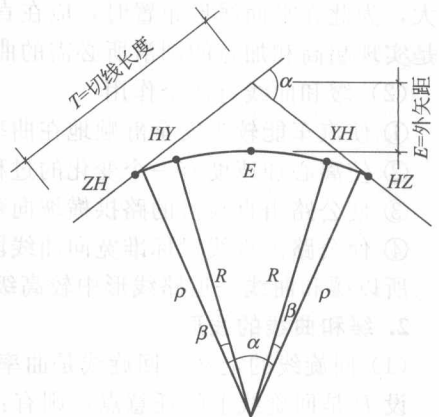


图 1-4 缓和曲线和圆曲线的衔接

$$t = \frac{L}{v}, \quad \frac{1}{t} = \frac{v}{L}$$

则  $\rho = v^3 / RL$ , 换成统一单位:

$$\rho = \frac{v^3}{RL} = \frac{1}{47} \times \frac{V^3}{RL}$$

所以缓和曲线所需长度为:

$$L = \frac{V^3}{47\rho R} \quad (1-15)$$

(2) 按驾驶员操作方向盘反应时间确定 在驾驶员操作方向盘不感到困难的情况下, 通过曲线的时间一般取 3s, 特殊地区取 2s, 则曲线所需长度 (按 3s 算,  $t=3$ ) 为:

$$L = vt = \frac{1}{3.6} Vt = \frac{1}{1.2} V \quad (1-16)$$

(3) 按视觉条件确定缓和曲线长度 应满足:

$$\frac{R}{9} < L < R \quad (\text{应用中常取 } 5, 10 \text{ 的倍数})$$

对于插入缓和曲线的圆曲线, 计算时为了保持圆曲线原来的半径, 需将圆曲线半径增大, 增大值等于内移值  $\Delta R$ , 即取  $R_1 = R + \Delta R$ , 所以设缓和曲线的圆曲线半径仍为  $R$ 。

#### 4. 缓和曲线要素计算

缓和曲线要素计算是习惯语, 这时不仅指包括缓和曲线, 而且指整个平曲线全体, 所以确切来讲是平曲线全体。

需计算要素为:  $T$ 、 $K$ 、 $E$ 、 $\beta$ 、 $\delta_0$ 、 $g$ 、 $C_0$ 、 $x_0$ 、 $y_0$ 。

由几何关系可得:

$$\beta = \frac{L^2}{2C} = \frac{L}{2R} \quad (1-17)$$

式中  $C$ ——回旋线常数;

$\beta$ ——缓和曲线切线和主切线夹角。

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R}$$

$$g = \frac{L}{2} - \frac{L^3}{240R^2} \quad (\text{缓和曲线切线增加值})$$

$$\text{切线长度} \quad T = (R + \Delta R) \tan \frac{\alpha}{2} + g \quad (1-18)$$

$$\text{曲线长度} \quad K = R(\alpha - 2\beta) \frac{\pi}{180} + 2L \quad (1-19)$$

$$\text{外矢矩} \quad E = (R + \Delta R) \sec \frac{\alpha}{2} - R \quad (1-20)$$

$$\delta_0 = \frac{1}{3}\beta$$

$$b_0 = \frac{2}{3}\beta$$

$$C_0 = y_0 \sec \delta_0 = x_0 \sec \delta_0$$

$$x_0 = L - \frac{L^5}{40R^2 L^2} = L - \frac{L^3}{40R^2}$$

$$y_0 = \frac{L^2}{6R}$$

## 第二节 道路的超高和加宽

### 一、超高

#### 1. 超高

由圆曲线设计原理分析可知,汽车以一定速度行驶在弯道外侧时会受到方向相同的离心力和汽车水平分力的联合作用,这会加大汽车的横向力,影响汽车的稳定,所以当采用的平曲线半径小于不设超高的最小半径时,将曲线外侧车道抬高构成和内侧同坡度的单坡横断面,这种设置称为超高。

超高用  $i_B$  表示:

$$i_B = \frac{V^2}{127R} - \mu \quad (1-21)$$

式中  $V$ ——行车速度, km/h;

$R$ ——曲线半径, m;

$\mu$ ——横向力系数。

当行车速度和半径为一定时,  $i_B$  按横向力系数  $\mu$  定。当路拱大于超高横坡度时,取路拱坡度值。

#### 2. 超高缓和段

超高缓和段是指由直线段的双向横坡逐渐过渡到圆曲线路段的超高横坡过渡段。超高缓和段的长度要适宜,过短会给行车带来不便,过长则会给测设施工路面排水带来困难。方式有以下几种。

(1) 绕路面里边缘旋转 路面在缓和段上要经过准备阶段、双坡阶段和旋转阶段,即可由正常路段过渡到圆曲线上的超高断面。

① 准备阶段 是在进入超高缓和段前,一定路段内把路肩横坡抬高到路面横坡相同过渡段。

② 双坡阶段 是在进入超高缓和段开始时将外侧车道绕中心线旋转到和内侧同坡度。

③ 旋转阶段 是路面内侧边缘线保持不动,整个路面绕内侧边缘线向上旋转,直到达到超高横坡度止。

外侧抬高值为:

$$h = Bi_B \quad (1-22)$$

超高缓和段长度为:

$$L_C = \frac{Bi_B}{\Delta P} \quad (1-23)$$

式中  $B$ ——双车道路面宽度;

$i_B$ ——超高横坡度;

$\Delta P$ ——超高渐变率(表 1-3)。

超高渐变率是旋转轴和行车道外侧边缘之间相对升降的比率,是超高缓和段长度的重要影响因素。

(2) 绕路面中心旋转 先将外侧车道绕中心线旋转到与内侧车道构成单向横坡,然后整个横断面一同绕路中心线旋转,直到达到超高横坡度止。



表 1-3 超高渐变率

计算行车速度/(km/h)	超高旋转轴位置	
	绕中心线旋转	绕边缘线旋转
100	1/225	1/175
80	1/200	1/150
60	1/175	1/125
40	1/150	1/100
30	1/125	1/75
20	1/100	1/50

此时外侧车道抬高值为:

$$h = \frac{B}{2}(i_0 + i_B) \quad (1-24)$$

超高缓和段长度为:

$$L_C = \frac{B}{2}(i_0 + i_B) \frac{1}{\Delta P} \quad (1-25)$$

式中  $i_0$ ——路拱横坡坡度。

## 二、加宽

### 1. 加宽

汽车在曲线上行驶时其前后轮的轮迹是不同的,而且驾驶员保持车辆在车道中心线上也较困难,弯道部分的路面宽度比直线段需要宽一些,所以为保持汽车在转弯中不侵占相邻车道,曲线段路面必须加宽。

由几何关系有:

$$L_0^2 + (R + e_1)^2 = R^2 \quad (\text{勾股定理})$$

$$e_1 = R - \sqrt{R^2 + L_0^2}$$

若双车道路面加宽值为单车道的 2 倍,  $e = 2e_1$ 。

考虑由于车速而产生的汽车摆动,平曲线上双车道路面加宽值为:

$$e = \frac{L^2}{R} + \frac{0.1V}{\sqrt{R}} \quad (1-26)$$

式中  $L$ ——汽车轴距加前悬的长度;

$R$ ——曲线半径;

$V$ ——计算行车速度。

平曲线加宽  $W$  值见表 1-4。

表 1-4 平曲线加宽  $W$  值

加宽类别	汽车轴距加前悬/m	加宽值 $W$								
		平曲线半径 200~ 250m	平曲线半径 <150~ 200m	平曲线半径 <100~ 150m	平曲线半径 <70~ 100m	平曲线半径 <50~ 70m	平曲线半径 <30~ 50m	平曲线半径 <25~ 30m	平曲线半径 <20~ 25m	平曲线半径 <15~ 20m
一	5	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	2.5
二	8	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	—	—	—	—
三	5.2+8.8	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	—	—	—	—

### 2. 加宽缓和段

行车道加宽是在圆曲线范围内,不变的全加宽值,直线段不加宽变化到圆曲线上的全加宽,需要有一个逐渐变化的过程。这一过渡段称为加宽缓和段。