

公路平面线形 曲线型设计方法

吴国雄 王福建 编著
李 方 主审

人民交通出版社

公路平面线形曲线型设计方法

Gonglu Pingmian Xianxing Quxianxing
Sheji Fangfa

吴国雄 王福楚 编著

李 方 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书对公路平面线形曲线型设计理论和方法作了较为系统的介绍,主要内容有:公路平面线形曲线型设计方法的概念以及曲直法、拟合法、积木法、综合法、弦切线法、闭合导线法、端点受限法、BP神经网络法、CBR法、圆弧移动法等十种曲线型设计方法。

全书系统性强,内容新颖,插图详尽,并引用了国内外最新的相关文献资料。本书可作为道路与铁路工程专业本科选修教材、道路与机场工程专业研究生教材,也可供道路、桥梁、市政等方面工程技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路平面线形曲线型设计方法 / 吴国雄, 王福建编著.
北京: 人民交通出版社, 1999. 11
ISBN 7-114-03454-7

I. 公… II. ①吴… ②王… III. ①公路线形-平面-设计
②公路线形-曲线-设计 IV. U412.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 31598 号

公路平面线形曲线型设计方法

吴国雄 王福建 编著

李 方 主审

版式设计: 周 园 责任校对: 张 捷 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.875 字数: 153 千

2000 年 1 月 第 1 版

2000 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001-2500 定价: 17.00 元

ISBN 7-114-03454-7

U · 02476

前 言

高等级公路和互通式立交的迅速发展，给公路运输以全新的概念。道路已不再是从环境的一处到另一处的通道，而是能够承担足够的交通量、具有流畅优美的线形、富有行车诱导性以及与周边环境景观协调统一的设施。其中线形作为公路设计的骨架，在整个公路设计及运营过程中起关键作用。良好的线形设计能提供优美的乘旅环境，同时能保证公路具有合理的技术性和经济性。

早期公路的平面线形设计由于受人们的认识水平、测设手段和计算方法的限制，平面线形设计方法以先定直线、后定曲线的方法为主。由于直线单元在线形组成中占主要成分，并起支配和控制路线走向的作用，其结果难免设计出一些组合不够良好、工程量较大以及与环境协调性较差的线形，从经济、技术和环境角度来看均不甚理想。尤其当这种方法应用于组合复杂的公路和立交平面线形设计时，更显得力不从心，这就迫使人们去探索一些新的设计方法。近年来，工程技术人员从平面线形入手，从理论研究出发，寻求一系列实用可行的以曲线为主体的曲线型设计方法，并将其应用于生产实践中，收到了良好的效果。本书及时收集国内外此方面最新的一些理论与方法，结合作者的研究成果，对公路平面线形曲线型设计方法作了全面系统的介绍。

全书共分十一章。第一章至第七章由重庆交通学院吴国雄编著，第八章至第十一章由北方交通大学王福建编著。全书由吴国雄统稿，东南大学李方教授主审。

关于公路平面线形曲线型设计方法的研究在我国还是最近几年的事，有关的设计理论和方法尚待进一步深入研究，并在生产

实践中不断完善，加上作者水平有限，书中错误在所难免，敬请批评指正。

作 者
1999年5月

目 录

第一章 概论	1
第一节 平面线形及其设计要求	1
第二节 平面线形直线型设计方法概述	8
第三节 平面线形曲线型设计方法概述	15
第二章 曲线型设计方法之一——曲直法	20
第一节 曲直法的基本原理	20
第二节 缓和曲线的配置	21
第三节 线形的计算与数设	26
第四节 应用及评价	33
第三章 曲线型设计方法之二——拟合法	38
第一节 拟合法的应用背景及基本原理	38
第二节 圆弧样条曲线及其路用特性分析	40
第三节 三次B样条曲线及其路用特性分析	43
第四节 三次样条拟合及其路用特性分析	50
第五节 三次参数样条曲线及其路用特性分析	54
第四章 曲线型设计方法之三——积木法	58
第一节 线形单元及其参数计算	58
第二节 积木法的基本原理	65
第三节 积木法设计步骤与方法	67
第四节 积木法应用与评价	79
第五章 曲线型设计方法之四——综合法	82
第一节 综合法的基本原理	82
第二节 线形设计	83
第三节 应用示例与评价	93
第六章 曲线型设计方法之五——弦切线法	98
第一节 基本原理及思路	98
第二节 设计方法	100

第三节	弦切线法应用及评价·····	107
第七章	曲线型设计方法之六——闭合导线法·····	111
第一节	基本原理·····	111
第二节	设计方法·····	117
第三节	设计应用及评价·····	123
第八章	曲线型设计方法之七——端点受限法·····	129
第一节	平面线形设计中的两类主要问题·····	129
第二节	平面线形设计中可能遇到的各种组合形式·····	130
第三节	“BE3 算法”和“BET 算法”的数学模型及 求解方法·····	139
第四节	设计应用及评价·····	145
第九章	曲线型设计方法之八——BP 神经网络法 ·····	149
第一节	基本原理与思路·····	149
第二节	BP 神经网络模型简介 ·····	150
第三节	用于“缓—圆—缓”构型设计的 BP 神经网络模型·····	153
第四节	设计应用及评价·····	157
第十章	曲线型设计方法之九——CBR (Case - Based Reasoning) 法 ·····	160
第一节	基本原理与思路·····	160
第二节	“缓—圆—缓”构型设计事例的表示和检索 方法·····	161
第三节	设计应用及评价·····	163
第十一章	曲线型设计方法之十——圆弧移动法·····	165
第一节	基本原理与思路·····	165
第二节	圆弧的三种移动方法·····	166
第三节	线形近似计算方法·····	167
第四节	平面布线中若干移动圆情况·····	173
第五节	设计应用及评价·····	176
参考文献	·····	178

第一章 概 论

第一节 平面线形及其设计要求

一、平面线形基本要素及其设计要求

公路平面线形由直线、圆曲线、缓和曲线构成，它们是公路平面线形的基本要素。

1. 直线

直线是一般公路平面线形设计的主要线形，主要有以下特点：

(1) 直线以最短的距离连接两端点，路线短捷，行车方向明确；

(2) 直线线形简单，测设容易；

(3) 过长的直线线形呆板，行车单调，容易使驾驶员产生疲劳，容易发生超车和超速行驶，行车时难以估计车辆之间的距离，夜间行车容易产生眩光等等，这些都是影响行车安全的不利因素。因此，直线路段尤其是长直线路段，行车安全性较差，往往是交通事故的多发路段；

(4) 直线线形呆板，布设时难以与地形及周围环境很好地协调。尤其在山岭区、丘陵区，采用过长的直线或直线布置不当会严重破坏自然景观，而且易造成大填大挖，工程经济性也不好。

正是由于上述特点，在高等级公路平面线形设计中，直线段的比例越来越小，如沪宁高速公路直线段约占全路的 30%。设计过程中采用直线线形应特别注意它同地形与环境之间的关系，

要求运用直线并决定其长度时，必须持谨慎态度，并不宜采用长直线。一般认为，在下述路段可采用直线：

(1) 不受地形、地物限制的平坦地区、沙漠地区、山间开阔谷地；

(2) 市镇及其近郊或方正的耕作区等规划以直线条为主体的地区；

(3) 高路堤、长大桥梁、隧道等路段；

(4) 路线交叉点前后、收费站前后；

(5) 双车道公路提供超车的路段。

在应用直线尤其是长直线时应注意以下几点：

(1) 直线路段路线纵坡不应过大，否则会造成上坡行车较难，下坡速度过快且极易失控，从而产生交通事故；

(2) 平面直线最好与纵面大半径的凹形竖曲线组合，以获取良好的视距条件，改善线形及行车质量；

(3) 直线路段两侧地形过于空旷、景观单调或变化较少时，宜采取植不同的树种或设置合理的建筑物等措施改善公路沿线的景观，保证行车安全、舒适；

(4) 长直线或长下坡尽头的平曲线，除曲线半径、超高、视距等必须符合规定要求外，还必须采取设置交通标志、增加路面抗滑能力等安全措施；

(5) 直线长度既不宜过长，也不宜过短，尤其是同向平曲线之间不得设置短的直线。按《公路路线设计规范》(JTJ 011—94)规定，最大的直线长度为设计车速的 20 倍左右为宜，而最短的直线长度反向曲线间取 2 倍设计车速 (以 km/h 计)、同向曲线间取 6 倍设计车速 (以 km/h 计) 为宜。

2. 圆曲线

圆曲线是各等级公路的主体平面线形，路线转角处都必须设置圆曲线，以利于行车。其主要特点是：

(1) 圆曲线上任意点的曲率半径 R 为常数，故测设比较简便；

(2) 汽车在圆曲线上行驶要受到离心力作用，并需要多占宽度；

(3) 汽车行驶在圆曲线内侧，驾驶员视线受到路堑边坡或其他障碍物的影响，视距条件较差，容易发生事故；

(4) 采用较大半径的长缓圆曲线，具有线形美观、顺适、易于适应地形和环境、行车舒适等特点。

应用圆曲线的关键是如何选择合理的圆曲线半径和长度，一般情况下应遵循如下几点：

(1) 在适应地形的情况下应尽量选用较大的曲线半径；

(2) 半径的选定要根据路线走向、地形地物约束情况及线形组合要求等，采用切线长、外距、曲线长等进行反算，然后对照规范规定进行取舍；

(3) 一般情况下宜采用极限最小半径的 4~8 倍或超高为 2%~4% 所对应的圆曲线半径值；

(4) 地形条件特别困难时，可使用极限最小半径；

(5) 对于高等级公路，圆曲线半径除满足上述要求外，最好还要满足视觉舒适的最小半径，以保证线形美观、协调和行车视觉舒适。视觉舒适的最小半径为：

$$R = \frac{0.2v_s^2}{i_z} + 20 \quad (1-1)$$

式中：R——视觉舒适的最小半径 (m)；

v_s ——设计车速 (km/h)；

i_z ——路线纵坡 (%)。

从上式不难看出，这一最小半径不仅强调了公路的设计速度对平面线形设计的要求，而且通过纵坡大小对平面线形设计的要求，体现了平面线形与纵面线形之间的内在联系，反映了平、纵面线形合理组合的重要性；

(6) 选取圆曲线半径时应考虑与前后线形要素之间的相互协调，使得整条平面线形连续、均衡；

(7) 圆曲线应与纵面线形相配合，必须避免小半径曲线与陡

坡相重合的情况。一般竖曲线半径为平曲线半径的 10~20 倍左右为宜；

(8) 圆曲线长度除应满足相应公路等级的规定要求外，还应照顾与缓和曲线长度之间的关系，以保证线形的协调和均衡。一般建议缓和曲线长度 L_s 与圆曲线长度 L_y 的关系为 $L_s:L_y:L_s=1:1:1$ 或 $1:2:1$ 为宜。

3. 缓和曲线

缓和曲线系指在直线和圆曲线之间或两半径不同的圆曲线之间设置的曲率渐变的曲线。其主要的的作用是：

(1) 线形缓和。与直线相接处曲率半径为无穷大，曲率为零，而与圆曲线相接处，曲率半径为圆曲线半径 R ，曲率为常数 $1/R$ 。两种线形径向相连，则在连接处形成曲率突变点，线形连续性较差。若加入缓和曲线，则曲率渐变，线形圆滑、美观，有良好的视觉效果和心理安全感。

(2) 行车缓和。汽车由直线驶入圆曲线或由大半径的圆曲线直接驶入小半径的圆曲线，其离心力发生突变，行车缺乏安全感。另外，从驾驶员转向操作过程看，前轮转向要求有一段逐渐变化的缓和线形，以保证前轮转向角的逐渐增加或减小，利于驾驶员操作方向盘。

(3) 超高和加宽缓和。为适应汽车弯道转弯特点，公路圆曲线上需设置超高和加宽，直线与圆曲线或超高和加宽不同的两圆曲线之间需设置超高、加宽过渡段，这是缓和曲线的一个重要作用。

由于回旋线方程与汽车由直线进入圆曲线的行驶轨迹相同，故缓和曲线一般采用回旋线，基本公式为：

$$rl = A^2 \quad (1-2)$$

式中： r ——回旋线上某点的曲线半径 (m)；

l ——回旋线上某点到原点的曲线长 (m)；

A ——回旋线的参数。

这是缓和曲线的性质。

应用时应注意以下几点：

(1) 回旋线在线形设计中应作为主要线形要素加以利用，尤其是在高等级公路的线形设计中，即使圆曲线半径大于不设超高的半径值，但为了保证线形美观、协调、均衡，也要设置回旋线。

(2) 回旋线长度应随圆曲线半径的增大而增大。

(3) 在确定回旋线参数时，应在下述范围内选定：

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad (1-3)$$

式中：A——回旋线参数；

R——与回旋线相连接的圆曲线半径 (m)。

当 R 接近于 100m 时，取 A 等于 R；

当 R 小于 100m 时，则取 A 等于或大于 R；

当 R 大于 3 000m 时，取 A 小于 R/3；

当 R 较大或接近于 3 000m 时，取 A 等于 R/3。

(4) 当圆曲线部分按规定设置超高或加宽时，缓和曲线长度应大于或等于超高过渡段或加宽过渡段长度。

(5) 缓和曲线长度除应满足要求的最小值外，考虑线形组合要求，圆曲线长度 L_y 与缓和曲线长度 L_s 之间的大小最好满足 $L_s:L_y:L_s=1:1:1$ 或 $1:2:1$ 为宜，以保证线形组合的协调、均衡。

二、平面线形组合类型及其设计要求

直线、圆曲线、回旋线三种基本线形要素的组合形式较多，一般情况下可视地形、地物及其它的约束情况，选用以下几种组合形式：

1. 基本型

如图 1-1 所示，按直线—回旋线—圆曲线—回旋线—直线的顺序组合。设计过程中，基本型的前后两个回旋参数可根据地形条件作成不相等的非对称的曲线。同时，为了保证组合的均衡协调，确定的回旋线、圆曲线、回旋线的长度之比宜为 $L_s:L_y:L_s$ 。

=1:1:1 或 1:2:1。

2. S 型

如图 1-2 所示，两段反向圆曲线之间用两段回旋线连接的组合形式。设计过程中，S 型相邻两段回旋线的参数 A_1 与 A_2 最好相等或相近。若两者采用不同的参数时，应满足 $A_1/A_2 = 1.5 \sim 2$ 为宜。另外，两段反向回旋线一般应径向相连，当受到地形等条件限制必须在其间插入短直线或两圆曲线的回旋线相互重合时，短直线或重合段的长度应满足下式规定：

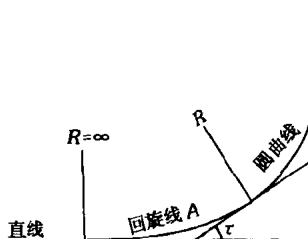


图 1-1 基本型

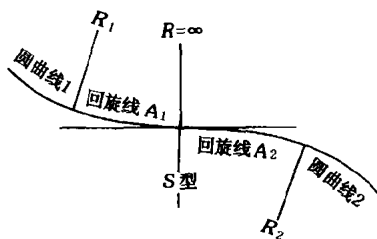


图 1-2 S 型

$$l \leq \frac{A_1 + A_2}{40} \quad (1-4)$$

式中： A_1 、 A_2 ——分别为两回旋线参数；

l ——反向回旋线间短直线或重合段的长度 (m)。

两圆曲线半径之比不宜过大，以 $R_1/R_2 = 1 \sim 1/3$ 为宜。
 R_1 、 R_2 分别表示大小圆曲线半径。

3. 卵型

如图 1-3 所示，用一个回旋线连接两段同向圆曲线的组合，设计过程中，卵型回旋曲线的参数最好在下列范围内：

$$\frac{R_2}{2} \leq A \leq R_2 \quad (1-5)$$

式中： A ——回旋线参数；

R_2 ——小圆的圆曲线半径 (m)。

同时要求两段曲线半径之比以 $R_2/R_1 = 0.2 \sim 0.8$ 为宜，以保

证线形的协调与均衡。另外,两圆曲线的间距 D 以 $D/R_2=0.003 \sim 0.03$ 为宜。 D 为两圆曲线间的最小间距,如图 1-3 所示。

4. 凸型

如图 1-4 所示,在两同向回旋线间不插入圆曲线而径向相连构成的组合形式。设计过程中,凸型曲线的回旋线最小参数及其衔接点处的最小半径值,应分别符合容许最小回旋参数值和圆曲线一般最小半径的规定。

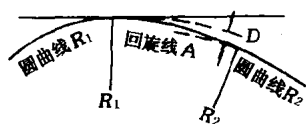


图 1-3 卵型

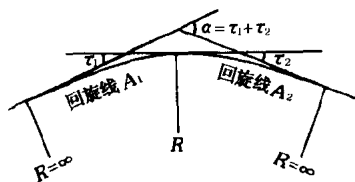


图 1-4 凸型

因其线形组合不利于行车操作,因此一般情况下不使用凸型曲线,只有在地形条件受到限制的山嘴或特殊困难情况下方考虑使用。

5. C 型

如图 1-5 所示,同向曲线的两回旋线在曲率为零处径向衔接(即连接处曲率为零,半径 $R = \infty$) 的组合形式。设计过程中,C 型两个回旋线的参数可相等,也可以不等。另外,C 型曲线只有在特殊地形条件下方可采用。

6. 复合型

如图 1-6 所示,两个以上的同向回旋线间在曲率相等处相互

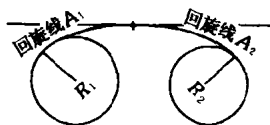


图 1-5 C 型



图 1-6 复合型

连接的组合形式。设计过程中,复合型的两个回旋参数之比以小

于 1:1.5 为宜。实际应用时,多用于互通式立体交叉匝道线形或受地形或其它特殊原因限制的路段。

三、公路平面线形设计的一般原则

进行公路平面线形设计,应遵循以下原则:

(1) 平面线形应直捷、连续、均衡,并与沿线的地形、地物相适应,与周围环境相协调。

(2) 各级公路不论转角大小均应敷设平面曲线,并尽量选用较大的圆曲线半径。当公路转角较小时,应设法调整平面线形,当不得已而设置小于 7° 的偏角时,则必须设置足够长的曲线。

(3) 两同向曲线间应设置足够长度的直线,一般以不小于 6 倍设计车速(以 km/h 计)的直线长度为宜。不得以短直线相连形成断臂曲线而影响线形连续和美观,否则应调整线形使之成为一个单曲线或复曲线,或运用回旋线组合成卵型、复合型及凸型等曲线,改善线形质量。

(4) 两反向曲线间应设置足够长的直线,一般以不小于 2 倍设计车速(以 km/h 计)的直线长度为宜。否则应调整线形,或运用回旋线将其组合成 S 型曲线,改善线形质量。

(5) 应避免连续急弯的线形,可在曲线间插入足够长的直线或回旋线,以保证线形的光滑、连续、平顺。

(6) 曲线线形尤其是组合复杂的线形,应特别注意整条路线技术指标的均衡性与连续性,以获得良好舒适的行车条件。

(7) 进行平面线形设计时,应注意平面线形与纵断面线形之间的良好组合,形成良好的空间线形,保证行车的快速、安全、舒适。

第二节 平面线形直线型设计方法概述

一、直线型设计方法的基本原理

在我国公路平面线形设计中,采用的线形设计方法一直是直

线型设计方法（又称为导线法），如图 1-7 所示。使用这种设计方法进行平面布线设计时，工程技术人员根据公路的等级、路线的走向、控制条件和技术要求，首先在实地或图上采用一系列连续的导线来控制公路的走向和基本位置，然后在路线的转弯处，为适应行车和地形的要求，采用不同的曲线或曲线组合来完成导线折线处的合理过渡，从而形成整个路线的平面线形。在直线型设计方法中，直线用以控制路线的走向和方位，在路线布置和设计过程中起主导作用。

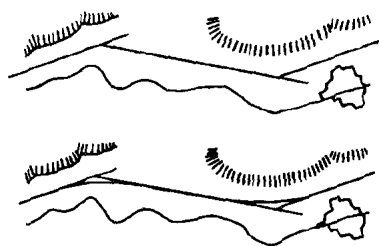


图 1-7 直线型设计方法示意图

二、直线型设计方法的步骤

直线型设计方法通常有纸上定线和实地直接定线两种方法。直接定线就是设计人员直接在现场确定公路的中线，而纸上定线就是在地形图上确定公路的中线。这里就一般情况下的实地定线和山区放坡定线两种情况的工作步骤简述如下：

（一）一般情况下的定线

当路线不受纵坡限制时，定线以平面和横断面为主安排路线。其要点是：以点定线，以线交点。所谓以点定线，就是在全面布局和逐段安排确定的控制点间，结合各方面因素进一步确定影响公路中线的小控制点，然后根据这些控制点大致穿出路线导线的方法。所谓以线交点，就是在已定小控制点的基础上结合路线标准和前后路线条件，穿出直线，并延长交出交点。具体步骤是：

1. 加密控制点

在实地寻找控制和影响路中线位置的具体点位，一般有经济性和控制性两种控制点。

(1) 经济性控制点：考虑横向填挖平衡或横向经济因素而确定的控制点，它只能作为穿线定点的参考位置；

(2) 控制性的点：考虑工程艰巨、不良地质、地物障碍、路基边坡稳定等，用以确定路中线位置的控制点。这类控制点的位置是确定的，定线过程中不能改变，只能作为控制条件加以利用。

2. 穿线交点

根据技术标准和线形组合的要求，满足控制点，照顾多数经济点，前后考虑，反复比较，穿出直线，并将前后相邻的两段直线延长，交出转角点。

3. 调整交点

根据地形和规范规定，进一步考证导线长度是否满足路线平面线形布置的各种技术要求，对交点位置进行适当调整。

4. 曲线计算和敷设

定出导线后，为满足地形及行车要求，在交点处需敷设曲线。此步工作的关键是选定满足地形、地物约束和标准的合理曲线组合类型及其合理的曲线要素值（圆曲线半径、缓和曲线参数等），并按照各种曲线组合类型及相应的曲线计算模式，进行里程桩号和中桩计算。

(二) 放坡定线

1. 分段安排路线

在选线布局确定的主要控制点之间，沿拟定方向用试坡方法粗定出沿线应穿应避的一系列中间控制点，拟定路线轮廓方案。

2. 放坡

放坡是解决控制点间纵坡的合理分配问题，实际上是现场设计路线的纵坡。放坡时要保证纵坡线形满足标准要求，并选用合理的坡度值，同时要估计平面线形的位置和曲线要素。