

公路几何线形 检测技术

Gonglu Jihe Xianxing Jiance Jishu

交通部基本建设质量监督总站组织编写

赵一飞 许娅娅 主 编



人民交通出版社

China Communications Press

公路工程试验检测技术培训教材

公路几何线形检测技术

Gonglu Jihexianxing Jiance Jishu

交通部基本建设质量监督总站组织编写

赵一飞 许娅娅 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路工程试验检测技术培训教材》分册之一。以现行标准、规范为基本依据,主要介绍公路几何线形检测的基本理论和方法。全书共五章,主要内容包括:公路线形的组成、平面位置的检测、纵断面高程的检测、横断面的检测。此外,还重点介绍了一些常用的检测仪器以及全站仪、全球定位系统、道路几何测试车等几种新仪器的使用方法。

本书为公路工程试验检测技术人员培训教材,亦可供相关专业技术人员和大专院校公路与城市道路及相关专业师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路几何线形检测技术/赵一飞,许娅娅主编.—2
版.—北京:人民交通出版社,2004.11
ISBN 7-114-05341-X

I.公... II.①赵...②许... III.公路线形—检测
IV.U412.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第112649号

公路工程试验检测技术培训教材

书 名:公路几何线形检测技术

著 作 者:交通部基本建设质量监督总站

责任编辑:韩 敏

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:7.75

字 数:176千

版 次:2004年12月第1版

印 次:2004年12月第1版第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05341-X

印 数:0001—5000册

定 价:16.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路工程试验检测技术培训教材》
编审委员会

主 任 委 员：李景和

副 主 任 委 员：成 平 徐 岳

编写委员会委员：张 超 郑南翔 王建华 王建军

陈建勋 赵一飞 许娅娅 马建秦

王建设 孙胜江 韩荣良

审定委员会委员：周绪利 何玉珊 易亚滨 韩文元

李荣均 王 刚 丁彦昕 胡大琳

杨少伟 吕康成 徐培华 陈 红

序

质量是工程的生命,试验检测是工程质量管理的重要手段。客观、准确、及时的试验检测数据,是工程实践的真实记录,是指导、控制和评定工程质量的科学依据。加强公路工程试验检测,充分发挥其在质量控制、评定中的重要作用,已成为公路工程质量管理工作的重要手段。

交通部历来对工程试验检测工作十分重视,1996年以来陆续颁布了《公路工程试验检测机构资质管理暂行办法》、《公路、水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》、《公路工程试验检测培训管理暂行办法》等法规。一批有能力、有资质的工程试验检测单位,在公路建设快速发展的大潮中诞生、发展、壮大,工程试验检测人员的业务素质也稳步提高。2004年10月全国交通基本建设质量监督工作会议提出要进一步规范和发展工程试验检测市场,推行盲样管理、规范校准标定和严格比对试验,提高试验检测能力和水平。这是对新时期试验检测工作的新要求。

提高试验检测的能力和水平,就必须提高相关人员的素质。组织试验检测人员的培训教育和继续教育,是提高试验检测人员技术素质的有效途径。1999年我站组织编写出版了公路工程试验检测培训教材,对促进规范化的培训工作起到了重要作用。但随着我国公路建设技术的日益发展,原教材需要补充完善和提高。为此,我站于2004年7月委托长安大学公路学院对原教材进行了系统修订。修订工作继承了原教材的内容丰富、系统、涵盖面广、每本教材内容相对独立、完整、自成体系等特点,结合当前我国公路建设技术水平和国家、交通部有关标准、规范的发展情况,对相应内容进行了修正、调整,增补了当前公路工程试验检测的部分新理论 and 新技术。整套教材有理论,有基本操作讲解、有实例,全面、系统地介绍公路工程试验检测理论和实用技术。适用于广大试验检测人员全面系统地学习和掌握公路工程试验检测技术,也可用于学员单科培训或自学,并可作为试验检测水平考试的复习指导用书,具有较强的实用性和可操作性,基本能够满足公路工程试验检测工作的实际需要。

随着我国公路基础设施建设投资规模的加大,公路工程试验检测工作将更趋繁重。我们要努力开拓,使公路工程试验检测工作走上规范、健康的发展道路。广大公路工作者特别是从事公路工程试验检测工作的同志,要不断加强业务学习,努力提高自身素质,进一步增强责任感,切实提高试验检测工作质量和水平,提供真实可靠的试验检测数据,为正确指导、准确控制和客观评定公路工程质量提供科学的依据和手段,促进公路工程质量提高到新的水平。

在该套教材的修编过程中,长安大学公路学院精心组织,克服时间紧、任务重的困难,按时完成了编写任务;人民交通出版社为编写单位提供了大量的参考资料,为编写工作的完成提供了有力的保证;有关专家认真审查教材内容,提出了很好的意见和建议。在此向他们表示衷心的感谢!

交通部基本建设质量监督总站 李景和

二〇〇四年十一月十八日

出版说明

公路工程试验检测工作,是公路工程质量管理的的重要组成部分,是质量控制的重要技术手段,交通部历来对此十分重视。1996年部在吉林召开了全国交通基本建设质量监督工程监理工作会议,提出要重视试验检测工作,加强试验检测工作的行业管理,并要求制定相应的管理法规。此后,部陆续颁布了《公路工程试验检测机构资质管理暂行办法》、《公路、水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》及《公路工程试验检测培训管理暂行办法》等法规,初步形成了公路工程试验检测管理法规体系。一批有资质的试验检测单位进入了公路工程建设实践。2004年10月全国交通基本建设质量监督工作会议又提出要规范和发展工程试验检测市场。为促进试验检测工作向独立公正、规范化、市场化方向发展,部将制定新的《交通基本建设试验检测管理办法》,进一步明确单位资质认定标准和试验检测人员管理办法。推行盲样管理、规范校准标定和严格比对试验等手段,加强对试验检测单位的监管。逐步提高检测数据采集和处理的自动化水平,保证检测结果的真实可靠。

随着我国公路建设水平的不断提高和试验检测技术的不断发展,对试验检测从业人员的业务素质和技术水平提出了更高要求,技术培训需求日趋旺盛。交通部基本建设质量监督总站(以下简称部质监总站)先后于1995年和1996年委托西安公路交通大学在西安对各省、市、区的部分试验检测工作骨干进行了集中培训。为满足全面系统培训工作的要求,部质监总站于1997年初开始组织西安公路交通大学进行培训教材的编写工作,经过试用,于1999年7月组织有关专家对全套教材进行了全面系统的审查,同年8月由人民交通出版社正式出版发行。该套教材一直用于试验检测工程师、试验检测员的业务培训,对公路工程试验检测知识的普及和技术进步起到了积极作用。

随着我国公路建设有关标准、规范体系的不断完善和试验检测技术的日益发展,对试验检测人员的业务素质和技术水平提出了更新、更高的要求。针对这一情况,部质监总站于2004年7月委托长安大学公路学院对原教材进行了系统修订。修订工作继承了原教材的内容丰富、系统、涵盖面广、每本教材内容相对独立、完整、自成体系等特点,结合当前我国公路建设技术水平和国家、交通部有关标准、规范的发展情况,对相应内容进行了修正、调整,增补了当前公路工程试验检测的部分新理论和新技术。教材的编写理论与实践兼顾,是一套全面、系统地介绍公路工程试验检测理论和实用技术的丛书。既适用于广大试验检测工作者全面系统地学习和掌握公路工程试验检测技术,也适用于单科培训或自学,具有较强的实用性和可操作性,基本满足了公路工程试验检测工作的实际需要。

本套教材共包括五本书,分别是:《路基路面试验检测技术》、《桥涵工程试验检测技术》、《隧道工程试验检测技术》、《交通工程设施试验检测技术》、《公路几何线形检测技术》。

《路基路面试验检测技术》主要介绍路基路面试验检测的目的和意义、路用材料试验检测方法、道路工程检测和评定方法、数据处理及检测新技术等。全书由张超、郑南翔、王建设主编,徐培华审阅,周绪利审定。《桥涵工程试验检测技术》主要介绍桥涵工程的材料、地基、桩基础、预应力锚夹具、桥涵结构等的试验检测以及桥梁荷载试验的基本原理、操作方法、结果评定

分析等。全书由王建华、孙胜江主编,胡大林审阅,何玉珊审定。《隧道工程试验检测技术》主要介绍公路隧道的防排水、施工变位、围岩、支护与衬砌受力的量测原理、方法及隧道通风、照明检测等内容。全书由陈建勋、马建秦主编,吕康成审阅,易亚滨审定。《交通工程设施试验检测技术》主要介绍护栏、交通标志、防眩等交通安全设施及收费、通信、监控、照明设施的质量性能要求和检测原理及方法等。全书由王建军、韩荣良主编,陈红审阅,韩文元审定。《公路几何线形检测技术》主要介绍了公路线形的组成、平纵横几何检测的原理和方法,以及检测仪器设备的使用方法等。全书由赵一飞、许娅娅主编,杨少伟审阅,周绪利、李荣均审定。

本套教材以国家和交通部颁发的有关法规及标准规范为依据,虽经全面审查和补充修改,但其中仍难免有不足之处,诚挚希望广大学员和读者在学习使用过程中及时将发现的问题函告部质监总站,以便进一步修改和补充。该套教材在编写过程中得到长安大学、人民交通出版社和有关专家的大力支持,在此一并致谢。

交通部基本建设质量监督总站

二〇〇四年十一月十八日

前 言

本书为交通部基本建设质量监督总站组织编写并审定的《公路工程试验检测技术培训教材》分册之一。

本培训教材是以交通部基本建设质量监督总站于1997年5月在石家庄组织审定的“公路工程试验检测技术培训教材编写大纲”为基本依据,以2000年由西安公路交通大学王文锐教授主编、人民交通出版社出版的《公路几何线形检测技术》培训教材为基础进行编写的。

经过四年的使用,原培训教材对全面提高我国公路工程检测技术人员的业务素质与技术水平起到了积极作用。但是由于公路建设的迅速发展,有关标准、规范的修订,检测新方法和新仪器的应用,原教材有的内容已不能适应目前检测工作的需要。因此,在这次修订编写中,除保留原教材结构体系外,对与常用方法不适应、与现行标准规范不相符的内容进行了修改,加强了公路线形基本知识和中线的平面坐标的内容,增加了利用GPS RTK技术检测公路中线的内容,删去了有些仪器具体操作步骤的相关内容,使教材内容更趋完善。另外,需要说明的是,教师在具体授课时,应根据具体授课对象的不同,依据大纲的要求选择相关内容进行讲授。对于试验检测员,则侧重于基本操作内容;对于试验检测工程师则侧重于基本理论与方法,因材施教,以取得良好的培训效果。

本书编写分工如下:长安大学田茂杰编写第二、第四章,许娅娅编写第三、第五章,赵一飞编写第一章并负责统稿。全书由赵一飞、许娅娅主编,杨少伟审阅,周绪利、李荣均审定。

本书在编写过程中,参考了有关标准、规范、教材和论著,在此谨向有关编著者表示衷心的感谢!由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,请读者批评指正。

编 者

2004年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 公路几何线形检测的目的与意义	1
第二节 公路线形组成	1
一、概述	1
二、路线平面	2
三、路线纵断面	9
四、公路横断面	15
五、桥梁、隧道轴线	26
第三节 几何线形检测内容	26
一、平面	26
二、纵断面	27
三、横断面	27
四、其它	28
思考题	30
第二章 平面位置的检测	32
第一节 中线的平面坐标	32
一、测量坐标系	32
二、公路平面控制测量的坐标系	35
三、公路平面控制网的检测	36
四、路线中桩坐标的计算	37
五、逐桩坐标表	41
第二节 中线偏位的检测方法	41
一、检测频率	41
二、中线偏位检测的方法	41
思考题	50
第三章 纵断面高程的检测	51
第一节 水准仪检测纵断面高程	51
一、检测频率	51
二、水准点的建立与加密	52
三、高程的检测方法	56
第二节 全站仪(或红外仪)检测纵断面高程	57

一、三角高程测量原理	57
二、地球曲率和大气折光的影响	58
三、三角高程测量方法	58
四、全站仪检测纵断面高程	59
思考题	59
第四章 横断面的检测	60
第一节 横断面方向的确定	60
一、直线段的横断面方向	60
二、圆曲线段的横断面方向	61
三、缓和曲线段的横断面方向	63
第二节 公路横断面的检测	64
一、公路路基宽度	64
二、公路横断面的检测	65
思考题	67
第五章 检测仪器介绍	68
第一节 简易测具	68
一、方向架	68
二、方向盘	68
三、边坡样板	68
四、斜坡(坡度)测角器(坡度尺)	68
五、边沟断面样板	69
六、挡土墙检坡尺	69
第二节 距离检测仪器	69
一、钢尺	69
二、光电测距仪	72
第三节 高程检测仪器	73
一、微倾式水准仪	73
二、精密水准仪	75
三、自动安平水准仪	76
四、电子水准仪	77
第四节 角度检测仪器	79
一、光学经纬仪	79
二、电子经纬仪简介	88
第五节 全站型电子速测仪	89
一、概述	89
二、几种全站仪简介	90
第六节 全球定位系统(GPS)	95
一、GPS 的组成	95

二、GPS 定位原理	97
三、GPS 测量的实施	100
第七节 道路几何数据测试车	103
一、测试车的组成及测试内容	103
二、RGDAS 系统	103
三、Gipsi-trac 系统	105
参考文献	110

第一章 绪 论

第一节 公路几何线形检测的目的与意义

公路工程检测工作是公路工程施工技术管理的一个重要组成部分,也是公路工程施工质量控制和竣工验收评定工作中不可缺少的一个主要环节。按照现行的《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004),质量评定单元的定量指标检测主要包括内在质量和外形检测两个方面,如路基路面内在质量检测指标主要是压实度、弯沉及强度等,外形检测指标包括中线平面偏位、纵断高程、宽度、厚度及横坡等。外形检测指标的质量评定权值与内在质量检测指标相近,在公路工程质量检测中占有重要地位。但在过去往往只重视内在质量的检测,而对公路几何线形和尺寸的控制重视不够,不仅直接影响到路容的美观、结构的强度与寿命,而且还影响到行车的安全、舒适。随着高等级公路里程的迅速增加,人们在享受公路交通带来便利的同时,对公路的安全、舒适提出了更高的要求。因此,不仅对公路几何线形的设计方面要求线形连续、均衡,满足驾驶员的视觉和心理要求,而且对几何线形的施工测量和检测方面,也提出了更严格的要求。

公路几何线形检测是指对路基路面、桥梁、隧道的平面、纵断面和横断面以及其它各种构造物的几何尺寸的测量、检查及评定,应贯穿于公路施工的整个过程,而不仅限于竣工验收评定阶段,以保证公路线形与各种结构物从设计转化为实体工程过程中,平面位置、高程及其它尺寸满足设计、规范及合同规定的各项要求。

第二节 公路线形组成

一、概 述

公路几何线形检测技术融检测基本理论、测量工程学及公路几何设计原理于一体,作为公路检测工作者而言,必须掌握并熟悉公路的几何组成以及在需要的时候能正确计算和运用各部分的坐标值和尺寸。

公路是一个三维空间的实体。它是由路基、路面、桥梁、涵洞、隧道和沿线设施所组成的线形构造物。一般所说的路线,是指公路中线的空间位置。中线在水平面上的投影称作路线的平面;沿中线竖直剖切再行展开则是路线的纵断面;中线上任一点法向切面是公路在该点的横断面。路线的平面、纵断面和各个横断面是公路的几何组成。路线设计是指确定路线空间位置和各部分几何尺寸的工作。设计一条公路,对于平、纵、横三个方面,既要综合考虑,又需分别处理。

公路线形是指公路平面、纵面和横面所组成的立体形状。线形设计的要求与内容应随公路等级和设计速度的不同而异。对于高速公路、一级公路以及设计速度 $\geq 60\text{km/h}$ 的公路,应

注重立体线形设计,尽量做到线形连续、指标均衡、视觉良好、景观协调、安全舒适。设计速度愈高,线形设计所考虑的因素应愈周全。对于设计速度 $\leq 40\text{km/h}$ 的公路,首先应在保证行车安全的前提下,正确地运用线形要素规定值(包括最大、最小值),在条件允许的情况下力求做到各种线形要素的合理组合,并尽量避免和减轻不利的组合,以期充分发挥投资效益。

公路线形的协调,即平、纵、横配合,主要靠设计者对平、纵线形组成的立体线形的想象判断;其次,借助于驾驶员透视图或公路路线动态仿真系统进行检验与评价。

二、路线平面

平面线形的优劣一般以行车轨迹来检验。最理想的公路平面线形是公路的行车道边缘与汽车前外轮和后内轮的轮迹线完全符合或相似。但车行道的平面设计不涉及轮迹问题,而是分成中线设计和沿中线的宽度两个问题分别处理。对中线设计,以符合或接近汽车重心的轨迹为准。公路中线应满足的几何条件是:线形连续圆滑;线形曲率连续(中线上任一点不出现两个曲率值);线形曲率变化率连续(中线上任一点不出现两个曲率变化率值)。

考虑上述几何条件,顾及计算与敷设方便,现代公路平面线形要素由直线、圆曲线和缓和曲线构成,称之为平面线形三要素。其中缓和曲线(指在直线与圆曲线或圆曲线与圆曲线之间设置的一种曲率连续变化的曲线)常采用回旋线(指曲率随着曲线长度成正比例增大的曲线)。公路平面线形设计就是从线形的角度去研究三个要素的选用和相互间的组合等问题。

(一)平面线形设计一般原则

1. 平面线形应短捷、顺直、连续、均衡,并与地形、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曲线,并尽量选用较大的圆曲线半径。公路转角过小时,应设法调整平面线形,当不得已而设置小偏角(小于 7°)时,则必须设置足够长的曲线。
3. 两同向曲线间应设有足够长度的直线,不得以短直线相连,否则应调整线形使之成为一单曲线或复曲线或运用回旋线组成卵型、凸型、复合型等曲线。
4. 两反向曲线间夹有短直线,应调整线形或运用回旋组合成S型曲线。
5. 曲线线形应特别注意技术指标的均衡与连续性。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。

(二)直线

1. 直线的规定

(1) 选用直线线形时,应根据路线所处的地形、地貌、地物,并参考驾驶员的视觉、心理状态等合理布设。

(2) 直线最大长度应有所限制,尽量避免长直线。当地形条件及其它特殊情况限制而采用长直线时,为弥补长直线段景观单调的缺陷,应结合沿线具体情况采取相应的技术措施。

(3) 直线不宜过短,曲线间设置直线时,其最小长度规定如下:

当设计速度 $\geq 60\text{km/h}$ 时,同向曲线间最小直线长度(以m计)以不小于设计速度(以 km/h 计)的6倍为宜;当地形条件及其它特殊情况限制时,最小直线长度不得小于设计速度(以 km/h 计)的3倍。反向曲线间最小直线长度(以m计)以不小于设计速度(以 km/h 计)的2倍为宜。当设计速度 $\leq 40\text{km/h}$ 时,可参照上述规定执行。

对于直线的最大长度,我国未作具体的规定。实际上我国地域辽阔,地形变化万千,对直

线最大长度也很难作出统一的规定,在实际工作中,设计人员可根据地形、地物、自然景观以及经验等来判断和决定直线的最大长度。

2. 直线的运用

两点之间以直线连接最为短捷、顺直,汽车在直线上行驶也受力简单,方向明确,驾驶操作简易。因而,直线在公路线形设计中被广泛使用。但是在地形起伏较大的地区,直线线形大多难于与地形相协调,易产生高填深挖路基,破坏自然景观,若长度运用不当,不仅破坏了线形的连续性,也不便达到线形设计自身的协调。过长的直线还易使驾驶人员感到单调、疲倦,难以目测车辆间距,很容易导致交通事故的发生。所以在运用直线线形并决定其长度时,必须持谨慎态度,不宜采用过长的直线。必须强调,无论是高速公路还是低速路在任何情况下都要避免追求长直线的错误倾向。

(1) 适宜采用直线段的情况

①路线完全不受地形、地物限制的平原区或两山之间的开阔地带,且周围景物有变化的情况下,一般可采用直线线形;

②市镇或其近郊规划方正的农耕区等以直线条为主体的地区,为协调景观、节约用地,宜采用直线线形;

③长度较大的桥梁、隧道等构造物路段,为缩短构造物长度、便于施工,宜采用直线线形;

④路线交叉点前后,为争取较好的通视条件,以采用直线线形为宜;

⑤单幅双车道公路,直线路段能提供较好的超车条件,故在一定间隔内应设置一定长度的直线。

(2) 当采用直线长度大于 1km 时的注意事项:

①长直线的纵坡不应过大,一般应小于 3%;

②同大半径凹型竖曲线组合,可减轻呆板之感;

③长直线两侧过于空旷时,宜采取栽植不同树种或设置一定建筑物等技术措施予以改善;

④长直线尽头,特别是长下坡方向的尽头,应对曲线半径、超高、视距等进行检验,必要时采取设置标志、增大路面抗滑能力等安全保护措施,以确保行车安全。

(三) 圆曲线

1. 圆曲线计算公式

行驶在曲线上的汽车由于受离心力作用其稳定性受到影响,而离心力的大小又与曲线半径密切相关,半径越小越不利。根据汽车行驶在曲线上力的平衡方程式得:

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

式中: R ——圆曲线半径(m);

V ——行车速度(km/h);

μ ——横向力系数,极限值为路面与轮胎之间的横向摩阻系数;

i_h ——超高横坡度。

2. 圆曲线的规定

(1)我国《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)根据不同的 μ 值和 i_h 值,对于不同等级的公路规定了极限最小半径、一般最小半径和不设超高的最小半径三个最小半径,见表 1-1。

各级公路圆曲线最小半径

表 1-1

设计速度(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
极限最小半径(m)		650	400	250	125	60	30	15
一般最小半径(m)		1000	700	400	200	100	65	30
不设超高的最小半径 (m)	路拱 $\leq 2\%$	5500	4000	2500	1500	600	350	150
	路拱 $> 2\%$	7500	5250	3350	1900	800	450	200

①极限最小半径

极限最小半径是指各级公路在采用允许最大超高和允许的横向力系数情况下,能保证汽车安全行驶的最小半径。《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中的极限最小半径就是在规定的设计速度时,采用 $i_h = 8\%$ 、 $\mu = 0.1 \sim 0.17$ 时计算后得来的。极限最小半径是路线设计中的极限值,是在特殊困难条件下不得已才使用的,一般不轻易采用。

②一般最小半径

一般最小半径是指各级公路在采用允许的超高和横向摩阻系数,能保证汽车以设计速度安全、舒适行驶的最小半径,《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中的一般最小半径值是按 $i_h = 6\% \sim 8\%$ 、 $\mu = 0.05 \sim 0.06$ 计算取整得来的。一般最小半径是在通常情况下推荐采用的最小半径。一方面考虑了汽车在这种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;另一方面考虑到在地形比较复杂的情况下不会过多增加工程量。

③不设超高的最小半径

当平曲线半径较大时,离心力的影响就较小,路面摩阻力就可以保证汽车有足够的稳定性,这时就可以不设超高,而允许设置与直线上相同的双向横坡的路拱形式。因此,不设超高最小半径就是指不必设置超高就能满足行驶稳定性的最小半径。从舒适和安全的角度考虑, μ 应取尽可能小的值,以使乘客行驶在曲线上与行驶在直线上有大致相同的感觉。《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中确定不设超高的最小半径时,若 $i_h \leq 2\%$, μ 取 $0.035 \sim 0.040$;若 $i_h > 2\%$, μ 取 $0.040 \sim 0.050$ 。

(2)圆曲线最大半径:选用圆曲线半径时,在与地形等条件相适应的前提下,尽量取大值,但最大不宜超过 10 000m。

(3)各级公路不论转角大小均应设圆曲线。选用原则是应与设计速度相适应,并尽可能选用较大值(与地形、地貌、地物等相适应),以提高公路使用质量。

3. 圆曲线的运用

(1)一般情况下,以采用极限最小半径的 4~8 倍,或超高横坡度为 2%~4%的圆曲线半径为宜。

(2)由于地形条件的限制,应采用大于或接近于一般最小半径值;只有当地形特别困难时,方可采用极限最小半径值。

(3)应注意前后线形要素相协调,使之构成连续、均衡的曲线线形。

(4)应同纵断面线形相配合,特别注意避免小半径与陡坡相重合的立体线形组合。

4. 圆曲线的最小长度

汽车在曲线线形的公路上行驶时,如果曲线很短,则驾驶员操作转向盘频繁而紧张,这在高速行驶的情况下是危险的。在平面设计中,公路平曲线一般由前后缓和曲线和中间圆曲线三段曲线组成,为便于驾驶操作和行车安全与舒适,汽车在任何一段线形上行驶的时间都不应

短于 3s,则在整个平曲线上行驶时间不少于 9s。如果中间的圆曲线为零,就形成凸型曲线,但凸型曲线对行车不利,只有在受地形条件限制的山嘴或特殊困难情况下方可使用。因此,在平曲线设计时,圆曲线的最小长度一般要有 3s 行程。

(四)缓和曲线

缓和曲线采用回旋线。回旋线的基本公式为:

$$A^2 = rl \tag{1-2}$$

式中: r ——回旋线上某点的曲率半径(m);

l ——回旋线上某点到原点的曲线长(m);

A ——回旋线参数(m)。

回旋线的曲率是连续变化的,而且其曲率的变化与曲线长度的变化呈线性关系。为此,可以认为回旋线的形状只有一种,只需改变参数 A 就能得到不同大小的回旋曲线, A 相当于回旋线的放大系数,这是回旋线的几何相似性。 $A = 1$ 时的回旋曲线叫单位回旋曲线。根据相似性,可由单位回旋曲线要素计算任意回旋曲线的要素。在各要素中,长度要素(如切线长、曲线长、内移值、直角坐标等)等于单位回旋线长度要素 $\times A$,非长度要素(如缓和曲线角、弦偏角等)就等于单位回旋线非长度要素。

1. 缓和曲线的设置

三级和三级以上公路,在直线与小于不设超高最小半径的圆曲线之间或不同半径的两圆曲线之间,应设置缓和曲线;高速公路(或高等级公路)也可在圆曲线半径大于不设超高最小半径时设置缓和曲线。

由于车辆要在缓和曲线上完成不同曲率的过渡行驶,所以要求缓和曲线有足够的长度,以使驾驶员能从容地打转向盘、乘客感觉舒适、线形美观流畅,圆曲线上的超高和加宽的过渡也能在缓和曲线内完成。《公路路线设计规范》(JTJ 011—94)规定的缓和曲线的最小长度是根据行驶时间 3s 计算的,规定各级公路缓和曲线最小长度见表 1-2。

各级公路缓和曲线最小长度 表 1-2

设计速度(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
缓和曲线最小长度(m)	一般值	130	120	100	80	50	40	25
	最小值	100	85	70	60	40	30	20

注:四级公路为超高、加宽过渡段长度。

2. 缓和曲线的运用

(1)回旋曲线容易与地形相适应,在线形设计中应作为主要线形加以运用。为在视觉上获得平顺的线形,在一定的半径取值范围内,回旋线长度(或参数)应随圆曲线半径的增大而增大,其参数与相连接的圆曲线半径关系如下:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \tag{1-3}$$

使用上述公式时,注意下列取值原则:

- ①当 R 接近于 100m 时,取 $A = R$;当 R 小于 100m 时,则取 $A \geq R$ 。
- ②当 R 较大或接近于 3000m 时,取 $A = R/3$;当 R 大于 3000m 时,则取 $A < R/3$ 。

(2)平面线形要素的组合类型

直线、圆曲线、回旋线组合可分为基本型、S 型、卵型、凸型、复合型、C 型。

①基本型

当平曲线按直线—回旋线(A_1)—圆曲线—回旋线(A_2)—直线的顺序组合而成时称为基本型,如图 1-1。当两回旋曲线的参数值相等,即 $A_1 = A_2$ 时,叫对称基本型; $A_1 \neq A_2$ 时,叫非对称基本型。基本型设计时,为使线形协调, A 值的选择最好使回旋线、圆曲线、回旋线的长度以大致接近为宜。

②S 型

两个反向圆曲线用两段反向回旋线连接的组合形式称为 S 型,如图 1-2。从行驶力学和线形协调、超高过渡上考虑,S 型曲线相邻两个回旋线参数 A_1 和 A_2 值最好相等;若当采用不同的参数时, A_1 与 A_2 之比应小于 2.0,有条件时以小于 1.5 为宜。

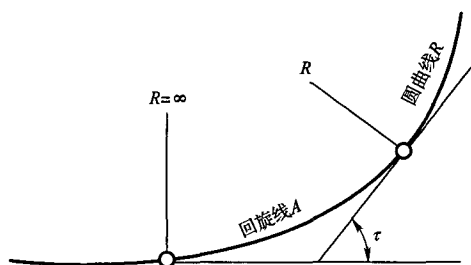


图 1-1 基本型

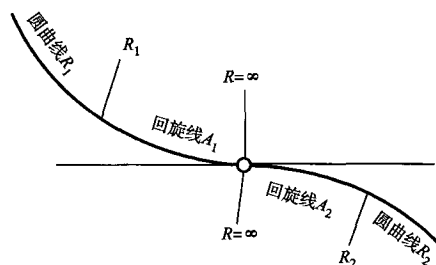


图 1-2 S 型

S 型的两个反向回旋线以径相连接为宜。当受地形或其它条件限制而不得不插入短直线时,其短直线的长度均应小于 $(A_1 + A_2)/40(\text{m})$ 。两圆曲线半径之比也不宜过大,以 $R_1/R_2 = 1/3 \sim 1$ 为宜(R_1 、 R_2 分别为大小圆半径, A_1 、 A_2 分别为大小圆的缓和曲线参数)。

③卵型

两同向的平曲线,按直线—缓和曲线(A_1)—圆曲线(R_1)—缓和曲线(A)—圆曲线(R_2)—缓和曲线(A_2)—直线的顺序组合而成的线形称为卵型,如图 1-3。卵型曲线用一个回旋线连接两个圆曲线,其公用缓和曲线的参数 A 最好在 $R_2/2 \leq A \leq R_2$ 范围内(R_2 为小圆半径),两圆曲线半径之比以满足 $R_1/R_2 = 0.2 \sim 0.8$ 为宜,两圆曲线的间距,以 $D/R_2 = 0.003 \sim 0.03$ 为宜(D 为两圆曲线间的最小间距)。用一个回旋线连接两个圆曲线而构成卵型,要求大圆能完全包住小圆。

④凸型

两段同向缓和曲线之间不插入圆曲线而径相连接的组合形式(圆曲线长度为零)称为凸型,如图 1-4。凸型的回旋线最小参数及其连接点处的半径值,应分别符合容许最小回旋线参

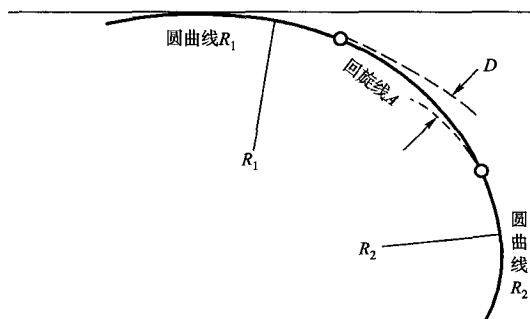


图 1-3 卵型

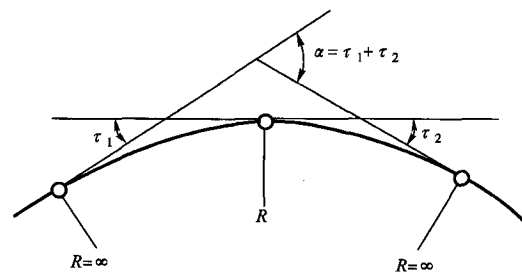


图 1-4 凸型