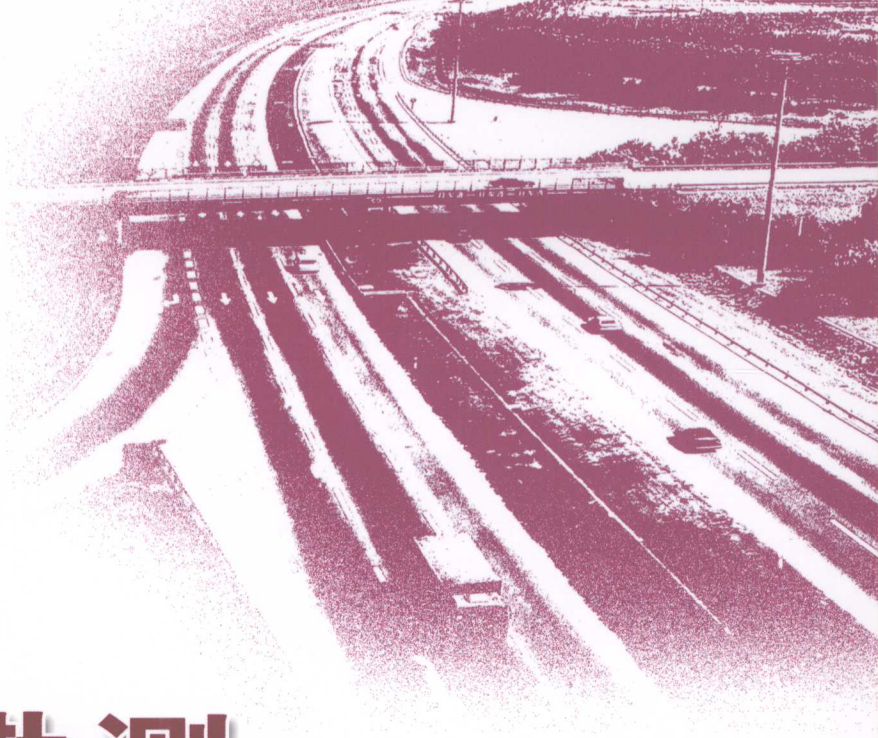




道路勘测

定线与施工放样 技术

刘培文 编著

DAOLUKANCE
DINGXIANYU
SHIGONG
FANGYANG
JISHU



人民交通出版社
China Communications Press

Daolu Kance Dingxian Yu Shigong Fangyang Jishu 道路勘测测定线与施工放样技术

刘培文 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书较为系统地阐述了公路勘测和施工放样的基本原理、相关理论和主要方法。内容包括：定放线基本原理和技术规则，定放线的基本计算以及顺路导线法和自由测站法施工放样方法及路基路面施工放样等内容。

本书可供从事道路勘测定线和施工放样的技术人员参考使用，也可作为高等院校土木工程专业师生学习用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

道路勘测定线与施工放样技术/刘培文编著. —北京:
人民交通出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-114-06894-2

I. 道… II. 刘… III. ①道路工程—勘测—②道路测量—
公路定线③道路工程—工程施工 IV. U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 169520 号

书 名: 道路勘测定线与施工放样技术

著 作 者: 刘培文

责任编辑: 毛 鹏 丁润铎

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)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: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20.75

字 数: 523 千

版 次: 2007 年 11 月 第 1 版

印 次: 2007 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06894-2

印 数: 0001~3000 册

定 价: 50.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

公路勘测设计中讲究周密的外业勘测和精心设计，而在工程施工中，要严格把握工程定位正确、尺寸准确、高程合适、程序得当、组织合理、选料合格、工艺精湛、质检及时这工程质量控制的八大环节。其中路桥工程勘测和施工放样是工程定位和尺寸高程控制的前导性工作，其工作做得是否细致、准确和得当，将直接关系到整个工程进度、投资、环保和技术质量。

本书在编写时注重常规的技术方法、规则和措施。书中重点阐述的是基本原理和实用方法，力图揭示公路野外勘测与施工放样的内涵以及基于基本原理的基础技术。这些原理和方法即是从事传统的、常规的和最基本的程序和方法，无论是采用全站仪、GPS 仪、地质超声波还是采用 GIS、3S 等现代勘测手段，都是必须要掌握的方法。力图在叙述手段上做到翔实细致，这样对用现代手段的全站仪和 GPS 仪定放线和放样的工作者来说，会更加客观、全面地考虑那些技术经济措施。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中有不妥乃至疏漏和错误之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

二〇〇七年九月

目 录

第一章 道路定放线基本原理和技术规则	1
第一节 道路几何实体描述	1
第二节 道路基本线形单元	9
第三节 平面实用线形形状	15
第四节 平面线形技术标准	20
第五节 平面放线技术规则	26
第六节 道路定线和放样的基本方法	34
第二章 道路定放线的基本计算	45
第一节 曲线主点和曲线元素	45
第二节 简单型单曲线计算	46
第三节 基本型单曲线计算	50
第四节 简单型复曲线计算	54
第五节 基本型复曲线计算	56
第六节 卵形复曲线计算	61
第七节 反向复曲线计算	67
第三章 道路勘测定线技术	71
第一节 直线形定线法作业	71
第二节 勘测野外记录	79
第三节 导线选择与标定方法	115
第四节 中线的定线方法	134
第五节 基平与中平测量	150
第六节 横断面与地形测量	155
第七节 桥涵与地质调查	163
第八节 其他调查与探测	170
第四章 顺路导线法施工放线	179
第一节 顺路导线点放样	179
第二节 切线支距法放线	188
第三节 切线偏角法放线	194
第四节 平移切线法放线	202
第五节 延长弦线法放线	206
第六节 弦线支距法放线	209
第七节 辅助基线法放线	212
第八节 基准圆心法放线	216

第九节 置仪交点法放线.....	222
第五章 自由测站法施工放线.....	223
第一节 放线主要技术文件.....	223
第二节 平面控制网复测.....	234
第三节 施工放线坐标计算.....	239
第四节 自由测站法施工放线基本方法.....	248
第五节 平面坐标系的选取与换算.....	252
第六节 坐标换带计算.....	256
第七节 路线高程控制网的选用.....	262
第六章 路基路面施工放样.....	264
第一节 纵断面放样相关知识.....	264
第二节 道路纵断面放样方法.....	271
第三节 横断面放样相关知识.....	279
第四节 路基施工放样方法.....	300
第五节 路面施工放样方法.....	311
第六节 附属工程放样.....	320
参考文献.....	323

第一章 道路定放线基本原理和技术规则

第一节 道路几何实体描述

因勘测定线和施工放线是基于一定理论基础上的实践操作技术,故作为从事该项工作的技术人员必须掌握一定的理论基础,这样才可触类旁通并举一反三。为此,本章适当介绍相关理论知识作为铺垫。

一、基础内容精要

(一) 道路实体

道路是一个空间线形带状构筑物,即道路是一个空间的三维实体。道路是通过设计后,经过施工而形成的。勘测中要做到周密调查和精心勘测。因为,道路并非孤立地存在,它是位于自然界供汽车运行的结构物,其位置受社会经济、自然地理和技术条件等因素制约。如将道路设计成一条能体现安全、迅速、经济、美观要求的道路,这与驾驶者的判断和反应、乘客的感觉、汽车的性能、行车对道路要求、道路本身状况、道路所处的环境等密切相关。所以道路勘测设计的任务就是在调查研究、掌握大量资料的基础上,设计出有一定技术标准、满足行车要求、工程费用最省的道路。而取得资料的过程便是勘测工作者的首要任务。因此,公路勘测设计是一项系统工程,所涉及学科较多,如工程测量、岩土工程、建筑材料、水力水文、路基路面、工程造价、桥涵工程、结构设计等学科。但就其工作内容而言,目前普遍公认地将其划分为野外定点技术测量和野外调查与勘探两项主要工作。

(二) 设计表述

道路这个空间带状构筑物在设计中用平面、纵断面和横断面来表达。

(三) 道路中线

道路空间带状构筑物在设计中的平面问题,主要研究道路中心线的平面投影,修路以前在原地面上布置的中心线和修成路以后的道路中心线的平面投影是一致的,这条中心线首先应满足汽车的行驶规律,因此,从理论上需要明确汽车行驶和安全行驶条件。

(四) 设计依据

道路定线和放线技术主要是对道路几何尺寸和外形形状的控制,具有体现安全、经济、舒适、美观、环保要求的道路是通过理论和实践的结合、合理设计和科学有序的施工来实现的。理论上需要探讨汽车、道路和乘客及驾驶员间的关系,这些关系包括:取定尺寸——设计车辆;取定速度——设计车速;路的容量——通行能力;车的多少——交通流量;行车条件——行驶理论;自由程度——服务水平;行车轨迹——公路线形;视觉连续——行车视距。因此,设计车辆、设计车速、交通流量、通行能力、服务水平、行车视距、汽车行驶理论和建筑限界是道路设计的基本依据。

（五）平面设计

道路中心线在实地是用间距不等和相等的木桩标定，其中桩的规格、桩号、种类、要求等，无论作为勘测设计者还是施工放样者都宜明确；而在纸上是用连续顺滑的粗实线条（包括直线和曲线）表达，无论是用桩点还是用线条都要涉及平面的线形形状，故平面设计中需要研究平面基本线形、基本线形的定位方程、基本线形设计的技术标准和由基本线形组成的实际线形及平面桩点定位计算和布置方法。

（六）定线控制

道路施工质量从定位正确、尺寸准确、高程合适、组织合理、程序得当、选料合格、工艺精湛、质检及时八个方面加以保证。其中，工程定位和工程尺寸的控制是道路勘测和施工放样的内容，它是按点、线、面的顺序把握的。线、网控制是控制的核心，线、网控制有以下几种形式：

（1）单导控制。以“顺路导线”为控制的方法，可称为顺路导线法。“顺路导线”指由交点和转点连接而成的导线。详细定点主要方法有切线支距法；切线偏角法；中央纵距法；延长弦线法；弦线偏距法；改移切线法；平移切线法；置仪交点法等。

（2）双导控制。当采用直线形定线法时，勘测中一般布置两套导线：第一套导线是在路线附近布置一套导线点，这套导线离路线有一定距离，不与路线重合，有时可横穿中线，导线点一般选在路线两侧视野开阔、居高临下、各点间相互通视、点位不易扰动、便于测区控制的地方，导线点桩志一般用钢筋混凝土桩，桩内顶一般埋有刻十字印痕的粗钢筋标示的点位，埋设要求与水准点要求相似。由导线点连成的导线，称为自由导线。第二套导线是由交点和转点连接而成的顺路导线，交点和转点桩一般用木方桩并以桩顶钉的小铁钉表示点位。双导控制定线方法可称为自由测站法，详细定点方法可分为坐标法和夹角距离法。

（3）布网控制。采用四等 GPS 网控制测设和放样道路中线的方法是指先在测区外围找一些高级 GPS 控制点，然后在道路附近布置“道路控制点”。分别置 GPS 仪于“GPS 控制点”和“道路控制点”上，以“两定一”的办法逐个确定道路控制点的位置，最后根据道路控制点确定道路中线。

二、相关理论原理

公路路线详细测设过程与道路施工放线中的野外定点技术中的操作基本相似，前者是在实地通过测量取得外业资料后做成设计文件，后者是根据已有的设计文件，反过来将道路路线或结构物等的位置、形状和尺寸、高程放到实地上。根据公路勘测设计的外业工作，取得有关的设计资料，经过设计而提供相应的图、文、表设计文件是施工定放线的基本依据之一。在施工测量过程中，道路中心线的野外定点技术，既是从事道路勘测设计人员必须掌握的，也是施工放样人员必须掌握的。

（一）公路实体及其在设计中的表述

在工程设计中，对一个规则的工程实体描述，一般是用其主视图、俯视图和侧视图及必要的截面图来表征。而道路是一种空间线形带状构筑物，见图 1-1a），因此就不能用上述的三视图来描述，但可仿照三视图描述实体的方式，将道路分解为如图 1-1d）、e）所示的平面、纵断面和横断面来研究。

道路平面图（图 1-2）是道路平面设计的主要技术文件之一。它是实地上布置的路线表

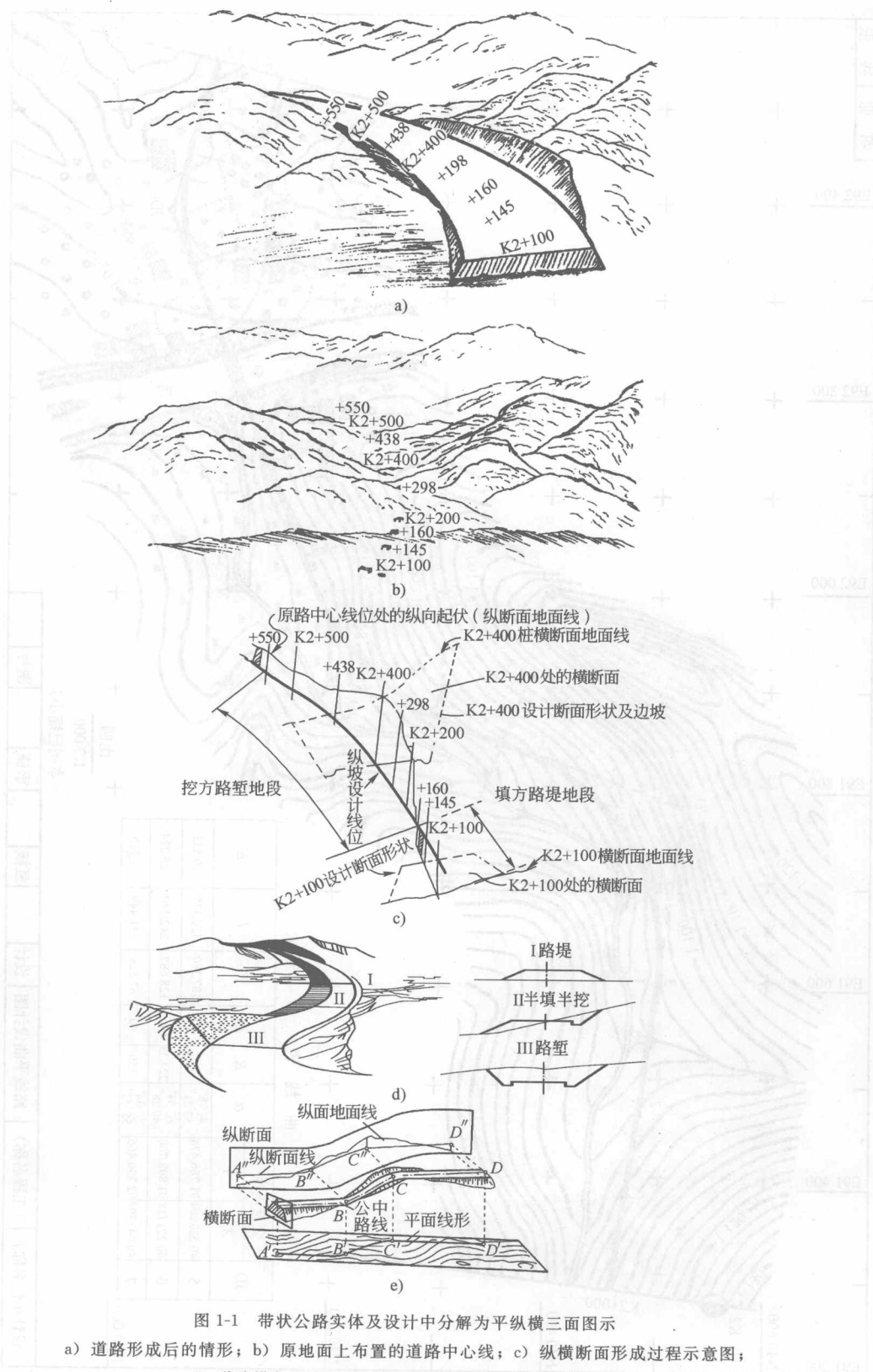


图 1-1 带状公路实体及设计中分解为平纵横三面图示

a) 道路形成后的情形；b) 原地面上布置的道路中心线；c) 纵横断面形成过程示意图；
d) 道路横断面形成示意图；e) 道路平、纵、横关系图



JD	交点坐标		α	R	L_S	T	L	E
	X	Y						
5	40 520.204 91	786.474	右 $78^{\circ} 53' 21''$	200	45	187 380	320 375	59 533
6	40 221.118 91	898.700	左 $51^{\circ} 40' 28''$	224.13	40	128 687	242 140	25 224
7	40 047.989 92	390.466	左 $34^{\circ} 55' 51''$	150	40	67 328	131.440	7.715

比例
1:2 000
(本图已缩)

(设计单位名称)	(工程名称)	路线平曲线设计图	设计	复核	审核	图号
----------	--------	----------	----	----	----	----

图 1-2 道路平面设计图

现在图上的一种方式。道路这种带状构筑物是在具有高低起伏的原地面上，通过填挖和修筑构筑物而形成的，但是，勘测中是在原地面上布置的道路中线，见图 1-1b)，这就需要将道路中线连同其周围的地形、地貌一并反映到图上。因为工程上描述自然地形、地物是用地形图来描述的（地形用等高线表示，地物用地物符号表示），所以用地形图就可表达道路周围的地形地貌。道路中心线是由直线和曲线构成的光滑连续线条表示的，将这样的线条叠画在具有一定宽度的带状地形图上，即在地形图上将道路中心线位置表示出来，就是道路的平面图。在平面图上，不但有道路中心线，而且还应有表示曲线位置的曲线表、水准点位置、桥涵隧位置、指北方向等的一些数据和图符。

无论是勘测定线还在实地施工放线，道路中心线是用一个个间距相等或不等的木桩把它标定出来。这一个个木桩相当于实地的点，从始到终的各个木桩的连线就构成了道路中心线。在道路详细测量中，这些桩的位置很重要，因为它不但要表示出道路中心线的实地位置，而且还要反映出线路纵向和横向的地形变化、占用耕地、拆迁建筑、道路交叉、地质不良地段的起终点等所在的位置，并且为土石方计算等设计提供依据。布置时必须知道每个桩的具体位置，因为路线的走向已由选线确定，因此，确定每个桩的实地位置，只要知道每个桩沿路线的相对位置即可，专业上是用“桩号”表示的。某个桩的桩号是指这个桩从路线起点沿路线前进方向到这个桩位（沿路线走向）的水平距离，它表明路线上某点在路线中的位置。

道路纵断面图（图 1-3）也是道路纵面设计的主要技术文件之一。它是沿尚未形成道路几何实体的原地面上布置的道路中心线作竖向剖切面，将这个剖切面拉直后，剖切面与地面的交线便是道路纵断面地面线。在地面线基础上，考虑技术标准、安全顺适、自然条件、工程经济、平纵组合和高程配合景观环境等因素可拉出设计线，也就是路基顶面的大致位置线，它由坡度线和竖曲线构成。

纵断面图上一般有 8 栏（包括：里程桩号、地质说明、坡度坡长、设计高程、地面高程、平曲线、填方高度和挖方高度）二线（纵断面地面线 and 设计线）。

道路的横断面（图 1-4），它表示出该桩位的地面横向起伏和该处设计断面形状的图形，其具体形状以设计填、挖（纵断面图上地面线 and 设计线的差值，称设计填挖）和设计断面形状等决定。公路的平、纵、横断面图及其图、文、表资料，是道路施工放样的主要依据之一。公路的平面图、纵断面图和横断面图相结合，表达了公路带状几何实体的设计形状。

（二）道路的形成过程及其定位方法

公路中线设计成果最终要在实地上布置中线。因此，无论对于道路勘测设计者还是从事施工测量的技术人员都必须了解道路中心线的形成过程。勘测设计中是按点、线、面、体顺序研究，而其中线定点技术主要解决中心线的布设（其实是其平面投影）。

（三）道路定位技术的发展阶段

从勘测设计的角度，布置道路中线可有两种做法：其一是，先在航测或采用其他方法测定的高精度大比例尺地形图上作纸上定线，然后按图上与实地路线的比例关系放到实地上，这种做法，一般用于高等级公路的勘测和设计；其二是，直接在实地布置导线（称选线），然后布置中线，进而完成整个路线的布置。但不论是纸上定线还是实地定线，实质上是一回事，前者从操作上只是多了一道手续。道路布线，是按“先控制，后碎部”的原则进行。其方法上经历了 3 个发展阶段。

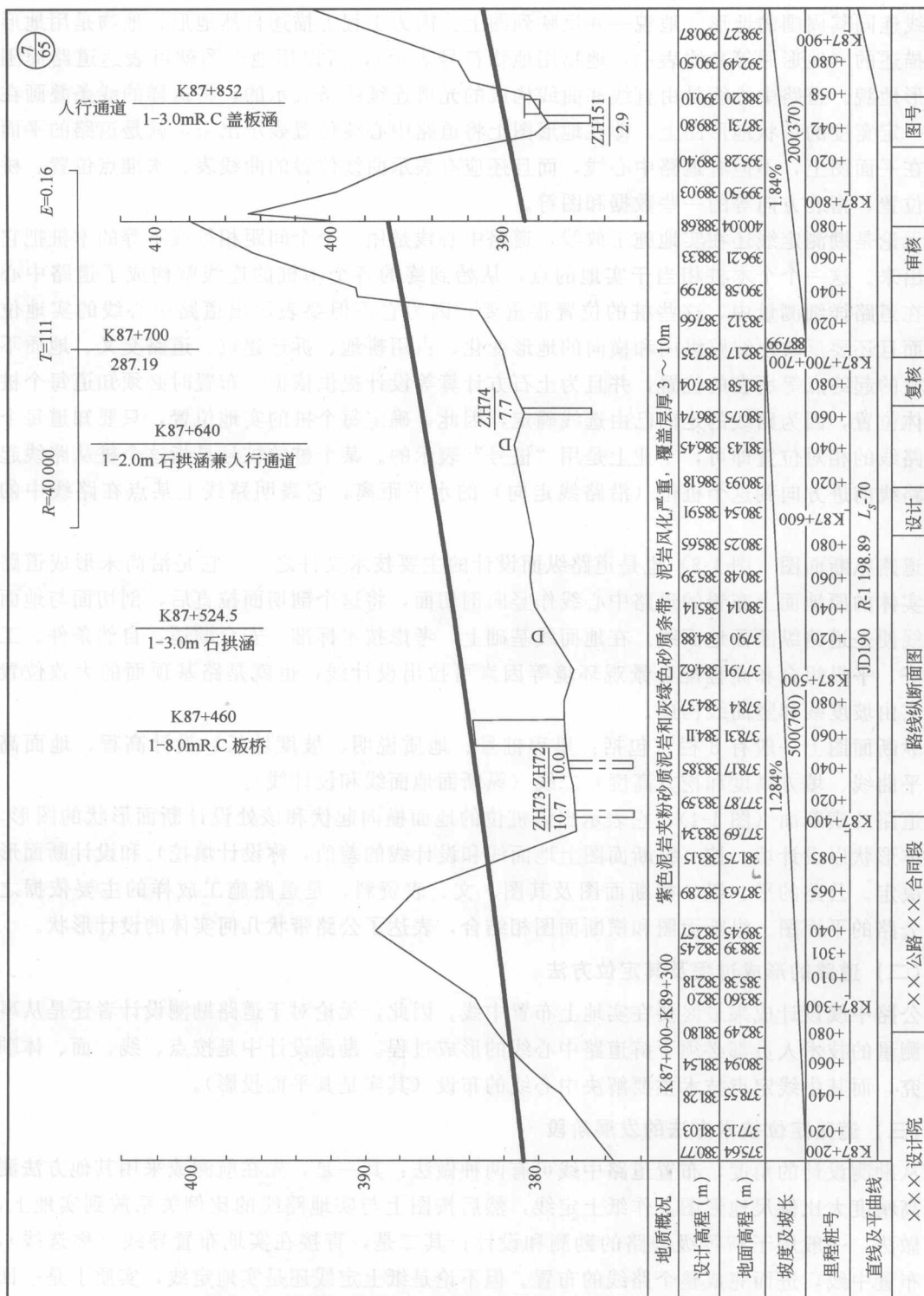


图1-3 道路纵断面设计图

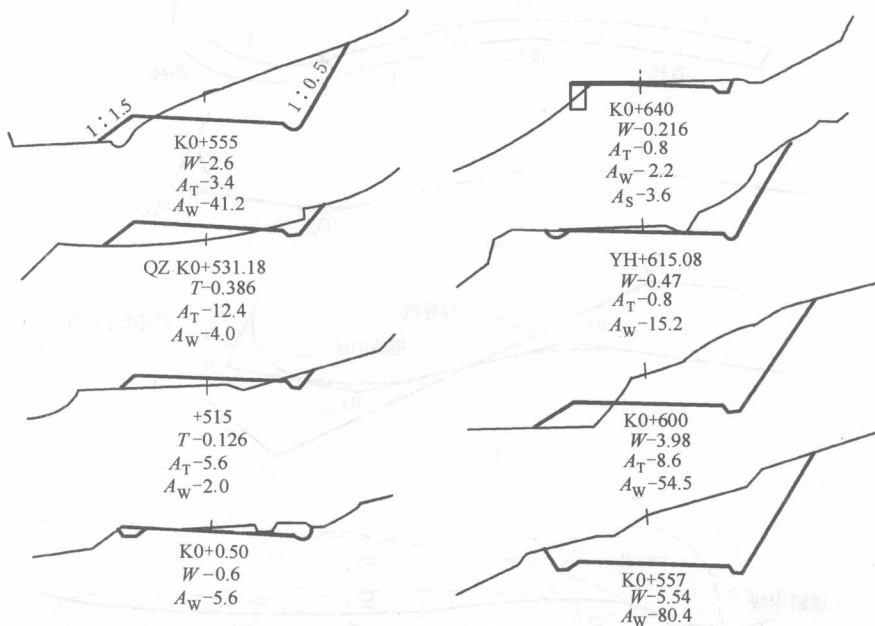


图 1-4 道路横断面设计图

第一发展阶段为最基本的方法（图 1-5a、b），是根据一系列技术和经济上的要求，先由选线组（在纸上或实地）选定控制道路大致走向的交点和转点，由交点和转点所构成的导线可称为“初定顺路导线”。在此基础上，测角组将这些交点和转点准确地标定，标定后的导线可称为“顺路导线”，然后测定前后导线的夹角，随后由中线组经过计算后把道路中心线用木桩准确地标定到实地上。这是一种至今仍沿用的最基本的方法。这种方法可称为“顺路导线测设法”，其特点是测设所使用的仪器主要为经纬仪、水准仪、钢尺等简单仪器和工具。

第二发展阶段是现在常用的方法，它是随着全站仪的采用而产生的一种方法，可称为“自由测站法”或“专控导线法”。如图 1-5c) 所示，它沿道路布置两套导线，即由 $\dots$ 、 C_n 、 C_{n+1} 、 $\dots$ 组成的与高级控制点联测的公路高级控制的“专控导线”或称“自由导线”，再由此导线位置测定“顺路导线”位置，进而完成整个公路中线的布置或直接测定道路的中线。

第三发展阶段是随着现代测试技术的不断提高和国内外 GPS 技术的采用，由线控制改用网控制的测设方法，它按由大到小逐级控制测量的步骤进行。具体做法是：先在测区外围找一些高级 GPS 控制点，如图 1-5d) 中的 P_1 、 P_2 等，这些高级控制点类似我国在全国范围布置的三角点（在美国每隔 $3'$ 经纬差就有 GPS 点，我国目前还没有这样密的 GPS 点）。然后在道路附近布置“道路控制点”，如图 1-5d) 中 C_1 、 C_2 等，分别置 GPS 仪于“高级控制点”和“道路控制点”上，以“两定一”的办法逐个确定道路控制点的位置，再闭合控制起点。最后根据道路控制点确定道路中线。GPS 测定点的方法类似于平面上的后方交汇法，但在空中，已知点至少 3 个才能确定未知点的位置。用 GPS 仪可测得由卫星发出的“载波”码的转换可知任一时刻置仪点（即待测点）至 GPS 卫星的距离。而此时天空中 GPS 星的位置可通过“卫星星历”得知，即这几颗卫星相当于天空中的已知点，据此可确定出未知点的位置。

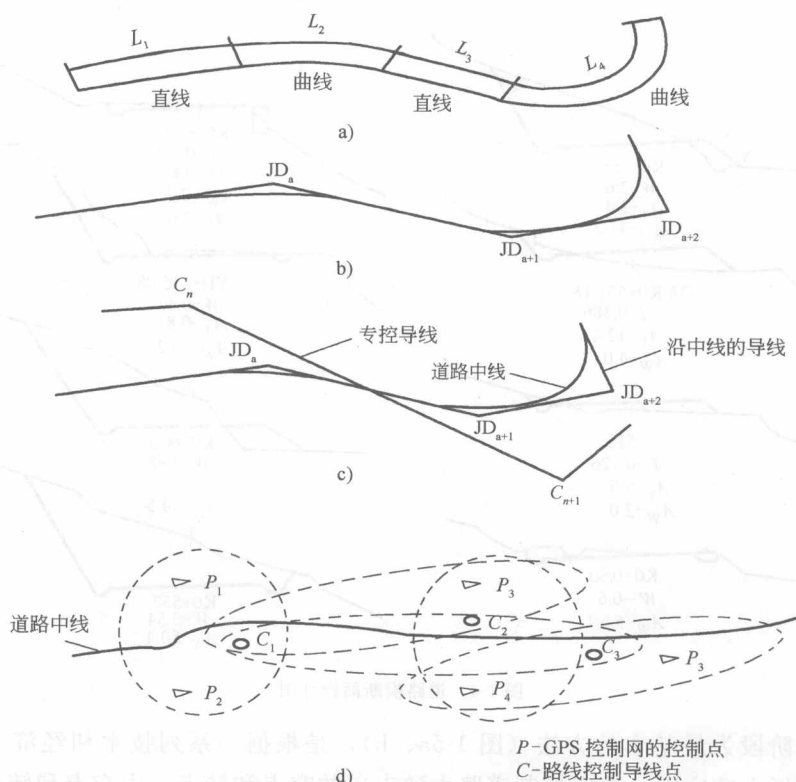


图 1-5 道路定线的单导控制、双导控制和 GPS 网控制

a) 公路中心线；b) 公路“顺路导线”与中线；c) 公路“自由导线”与“顺路导线”及其中线；d) 用 GPS 控制网测设的 GPS 控制网与中线

用普通测量仪器（经纬仪、水准仪等）所从事的路线勘测，即现场选定路线交点和转折点，然后布置中线，进而完成整个路线勘测工作。这种做法，习惯上称为公路常规勘测。一般用于测区范围较小、不考虑地球曲率影响且工程简单或者测设单位受仪器所限的公路部分路段和低等级公路的测设。公路常规勘测程序和内容应先从公路形成过程分析。如前已述，道路是通过外业勘测与内业设计形成的。外业勘测一般由选线、测角、中桩、水平、横断、地形、桥涵、调查、地质、综查（含随队内业）10 个作业组组成的勘测队，通过大量工作取得设计资料的过程。据外业资料在室内进行设计的工作称内业设计。上列前 5 个外业作业组工作完成后，确定了道路中心线的平面位置和沿中心线及两侧一定范围的原地面高低起伏状况。据此，设计人员可绘出路线纵断面图中的地面线（此地面线相当于沿道路中心线竖剖切面与原地面交线拉直后的图形）和沿中线每隔一定距离（每个桩位）左右一定范围的地面高低起伏状况图，称横断面地面线。然后考虑一系列技术和经济要求可画得（拉坡）设计纵坡线，在转坡点处设置竖曲线后得到将来路基顶面（准确地说为路肩边缘）位置。再以中心设计线高度按道路横向各处设计断面形状（即设计标准断面）向两侧拓展（称戴帽子）形成路基。

公路是一个位于自然界中的结构物，在设计施工中涉及的因素甚多，故仅做以上工作还不能完成整条公路设计，尚应考虑路面、桥梁、隧道、涵洞、排水、防护、支挡等工程结构物的设计；另外，还得计算其工程造价（概、预算），为此而做的相应外业工作便是后面 5

个作业组的勘测与调查内容。

对高级公路,一般采用两阶段或三阶段勘测,而且用纸上定线法,即先在大比例尺航测地形图上定出路线,在图上量取各交点和路线起终点坐标,定出中线上直线和曲线段(包括曲线段半径、缓和曲线长度等),然后用全站仪置于实地布设的导线点上,利用中桩的坐标将其放样到实地上。一般用于测区较大且考虑地球曲率影响的公路测设。这种方法习惯上称为现代公路勘测。测量过程中一般为两条导线,即沿路中线导线和沿路线附近专设的控制导线,然后根据控制导线与中线的关系放出中线。控制导线大致与中线走向一致,个别处可横穿中线。导线点布置在相互通视、便于测区控制、易于保存之处,与中线间横向距离一般为100~500m,纵向间距可达1km以上。导线点的边长、夹角、高程观测限差(单项限差)和导线闭合差(综合限差)都符合要求后,应进行严密平差(可编制专门的平差程序进行平差),最后计算出每个导线点的坐标。再通过初测的导线点与中桩的边角关系计算出每个中桩的坐标,置仪于导线点上,利用导线坐标与中桩坐标的关系将中桩直接放样到实地上。

第二节 道路基本线形单元

公路勘测定线和施工放样,必须明确公路使用的线形,而这些线形是由基本线形构成。本节首先探讨基本线形有哪些,从而为实际线形元素计算提供技术支撑。

一、基础内容概要

现代平面线形设计理论的实质是适应车辆行驶规律并保证速度连续和视觉连续。汽车行驶轨迹与道路中线由实地轨迹调查、汽车理论轨迹分析、前轮旋转面与车身纵轴关系研究3种办法获得。

(一) 实地轨迹调查

1. 调查方法

- (1) 雪地轮印;
- (2) 前灯光带;
- (3) 漏油痕迹;
- (4) 防滑剂印。

2. 调查结果

汽车直行—连续直线;汽车拐弯—连续曲线。

3. 调查结论

- (1) 轨迹连续且光滑;
- (2) 轨迹线曲率连续;
- (3) 轨迹线曲率导数连续。

(二) 前轮旋转面与车身纵轴关系研究

1. 研究结果

- (1) 夹角为零;
- (2) 夹角为常数;
- (3) 夹角为变数。

(3) 夹角为变数对应回旋线。

1. 研究方法

汽车行驶理论轨迹方程建立微元分析法的步骤是先探求轨迹方程一般表达式,再看轨迹方程符合哪种方程,轨迹线就是哪种曲线。分析结果建立了等速等角转弯和等速等角速度转弯时相应的两种轨迹方程。

当等角度转动转向盘实现拐弯时为圆弧；当等角速度转动转向盘实现拐弯时为回旋线。

道路设计中的线形不论多么复杂,都是由连续直线、圆曲线和回旋线 3 种基本线形构成。

我国目前道路设计中所采用的基本线形有直线、圆曲线和回旋线 3 种。也就是说,公路设计中的线形不论多么复杂,均是由这 3 种基本线形组合或之一构成。

回旋线具有线形缓和与行车缓和以及超高过渡和加宽过渡的作用，也称缓和曲线。此种曲线多用于当由实地地形地物条件所选的圆曲线半径较小（小于《公路工程技术标准》中规定的不设超高的曲线半径）时，而在顺路导线转折处设置的圆曲线两端应分别由一段缓和曲线与相邻导线的连接过渡或者复曲线中两相邻圆曲线半径悬殊较大的圆曲线中间的连接过渡（图 1-6）。

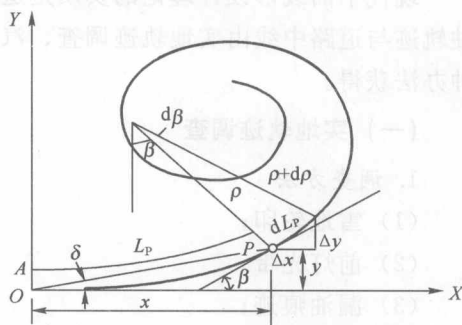


图 1-6 回旋线示意图

由高等数学可知，回旋线的参数表达式为：

$$\rho \cdot L_p = L_s \cdot R = C \quad (1-1)$$

式中： ρ ——回旋线上任意一点的径向半径；

L_s ——从回旋线上曲率为零的点至曲率为 $\frac{1}{R}$ 的点沿回旋线的长度；

R ——回旋线所连接的圆曲线半径；

L_p ——回旋线上曲率为零的点至任意点 P 沿回旋线走向的距离;

C ——常数。

为明确起见,现假定回旋线与道路无关,单独拿出回旋线来分析,建立回旋线的直角坐标表达式。如图 1-6 所示,在 XOY 坐标系中,假定回旋线曲率为零的点位于坐标原点,汽

车转弯时的行驶轨迹为一回旋线，在回旋线上任取一点 P ，在 P 点取一微元段分析，设微元长度为 dL_p ，所对应的回旋线角度为 $d\beta$ ， OP 长度为 L_p ， L_p 所对应缓和曲线角为 β ，据图 1-6 分析可知：

$$\left. \begin{aligned} x &= \int dx = \int dL_p \cdot \cos\beta \\ y &= \int dy = \int dL_p \cdot \sin\beta \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

以上公式有两项参数，难以积分，需统一变量。现由微元图及参数表达式统一变量：

$$\left. \begin{aligned} \rho \cdot d\beta &= dL_p \\ \rho \cdot L_p &= R \cdot L_s = C \end{aligned} \right\}$$

得

$$d\beta = \frac{dL_p}{\rho} = \frac{L_p}{C} dL_p$$

$$\beta = \int \frac{L_p}{C} dL_p = \frac{1}{C} \int L_p dL_p = \frac{L_p^2}{2C} = \frac{L_p^2}{2RL_s}$$

同理可推导出：偏角 $\Delta = \frac{1}{3}\beta$

故式 (1-2) 可写为：

$$\left. \begin{aligned} x &= \int dx = \int dL_p \cdot \cos\beta = \int dL_p \cdot \cos\left(\frac{L_p^2}{2C}\right) \\ y &= \int dy = \int dL_p \cdot \sin\beta = \int dL_p \cdot \sin\left(\frac{L_p^2}{2C}\right) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

由泰勒公式（连续可微的并存在 n 阶导数的函数，可以表达成幂次多项式的和）(1-3)：

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)(x-x_0)^1}{1!} + \frac{f''(x_0)(x-x_0)^2}{2!} + R_n(x)$$

$$R_n(x) = \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} (x-x_n)^{n+1}$$

对于三角函数，写成泰勒公式的形式如下：

$$\left. \begin{aligned} \cos\beta &= 1 - \frac{\beta^2}{2!} + \frac{\beta^4}{4!} - \frac{\beta^6}{6!} \dots \\ \sin\beta &= \beta - \frac{\beta^3}{3!} + \frac{\beta^5}{5!} - \frac{\beta^7}{7!} \dots \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

将上式代入式 (1-3) 并经积分得到回旋线的直角坐标表达式 (1-5)：

$$\left. \begin{aligned} x &= \int dx = \int dL_p \cos\beta = \int dL_p \cos\left[\frac{L_p^2}{2C}\right] = L_p - \frac{L_p^5}{40R^2L_s^2} + \dots \\ \text{同理：} \quad y &= \frac{L_p^3}{6R^2L_s^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中： x ——回旋线上某点的横距（以回旋线上曲率为零的点为坐标原点，且以通过该点的切线作为 X 轴时，回旋线上某点所对应的横坐标）；

y ——回旋线上某点的纵距（以回旋线上曲率为零的点为坐标原点，且以通过该点并垂直于 X 轴的轴为 Y 轴时，回旋线上某点所对应的纵坐标）；

L_p ——回旋线上某点到起点的长度；

L_s ——取定的一段回旋线的总长度；

R ——取定一段的回旋线终点处的曲率半径。