

高等职业教育教材

工程测量

■ (下册)

夏春玲 主编

[GONGCHENG]
[CELIANG]

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育教材

工 程 测 量

(下 册)

夏春玲 主 编

关红亮 陈金芳 副主编

中国铁道出版社

2012年·北 京

内 容 简 介

“工程测量”为天津铁道职业技术学院的精品课,本书为“工程测量”精品课的配套教材之一,全套书共三本,包括《工程测量》上、下册和配套的《工程测量训练指导与课后习题》。全套书共设置了11个学习情境,本书为下册。依次设置了“线路中线测量”“断面测量”“新线施工测量”“既有线测量”“桥梁施工测量”和“隧道施工测量”6个学习情境。此外,书后附录介绍了4种全站仪的应用方法。

本书可作为铁道工程、城市轨道交通工程、高速铁路工程、道路与桥梁工程、隧道工程、基础工程和工程测量等土建工程类专业的教材,也可作为职工上岗培训教材以及工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量.下册/夏春玲主编.—北京:中国铁道出版社,2012.3

高等职业教育教材

ISBN 978-7-113-14329-9

I. ①工… II. ①夏… III. ①工程测量—高等职业教育—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 034323 号

书 名: 工程测量(下册)

作 者: 夏春玲 主 编 关红亮 陈金芳 副主编

策划编辑: 刘红梅 电话: 010-51873133 邮箱: mm2005td@126.com 读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 刘红梅

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 王 杰

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.edusources.net>

印 刷: 北京市燕鑫印刷有限公司

版 次: 2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 7.25 字数: 178 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-14329-9

定 价: 18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 63549504

前言

近年来,我国高等职业教育蓬勃发展。高等职业教育作为高等教育发展中的一个类型,肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命。教高[2006]16号文件明确指出,高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,改革课程体系和教学内容。改革教学方法和手段,融“教、学、做”为一体,强化学生能力的培养。推行与生产劳动和社会实践相结合的学习模式,重视学生校内学习和实际工作的一致性。探索工学交替、任务驱动、项目导向、顶岗实习等有利于增强学生能力的教学模式。加强教材建设,与行业企业共同开发实训教材,建设工学结合的精品课程。

“工程测量”课程是天津铁道职业技术学院的首批精品课程之一。在学院领导的大力支持和测量人士的共同努力协作下,《工程测量》教材得以顺利开发和使用。这套教材坚持任务驱动、项目导向、基于工作过程的新思想,打破传统的理论体系,编写时对测量知识和学习过程进行了重组和编排,以学习情境为基本学习单元,每个学习情境对应设计相应的项目训练和技能考试题,形成一套崭新的教材模式。

全套书共三本,包括《工程测量》上、下册和配套的《工程测量训练指导与课后习题》。全套书共设置了11个学习情境。下册依次设置了“线路中线测量”“断面测量”“新线施工测量”“既有线测量”“桥梁施工测量”和“隧道施工测量”6个学习情境,适合铁道工程、土木工程、道路与桥梁。隧道工程等专业使用。

本书由天津铁道职业技术学院夏春玲主编,关红亮和陈金芳副主编。其中,学习情境6由陈金芳、夏春玲合编,学习情境7、10、11由关红亮编写,学习情境8、9和附录由夏春玲编写。全书由夏春玲统稿。在编写过程中,得到了中铁六局、七局、十局、铁道部第三勘察设计院和天津工务段等多家单位和企业的协作与帮助,也得到了天津铁道职业技术学院领导和铁工教研室、桥隧教研室、测量教研室各位同仁的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,又初试新模式教材编写,书中难免存在不妥之处,敬请读者予以批评、指正或商讨建议。

编者
2012.2

目 录

学习情境 6 线路中线测量	1
子情境 1 直线控制点及中心桩的测设	1
子情境 2 圆曲线测设	7
子情境 3 带有缓和曲线的综合曲线测设	12
【拓展知识】	22
一、延长直线	22
二、转点的测设	23
三、偏角法详细测设圆曲线	23
四、偏角法详细测设缓和曲线	25
五、偏角法测设曲线的精度要求	28
学习情境 7 断面测量	30
子情境 1 纵断面测量	30
子情境 2 横断面测量	35
学习情境 8 新线施工测量	39
【拓展知识】	43
一、路基竣工测量	43
二、铺设铁路上部建筑物时的测量	43
学习情境 9 既有线测量	44
【拓展知识】	49
一、既有线的高程测量	49
二、既有线的横断面测量	49
三、既有线的地形测量	50
四、既有曲线整正计算	50
学习情境 10 桥梁施工测量	51
【拓展知识】	62
一、曲线桥墩、台中心测设的常用方法	62
二、桥梁墩、台高程测设的常用方法	63

学习情境 11 隧道施工测量	65
【拓展知识】	88
一、隧道洞外控制测量的常用方法	88
二、隧道洞内导线的布设形式	89
三、竖井联系测量	91
附录 1 南方全站仪的应用	96
一、仪器简介	96
二、南方全站仪放样程序	96
附录 2 苏一光全站仪的应用	99
一、仪器简介	99
二、苏一光全站仪放样程序	99
附录 3 Win 全站仪的应用	102
一、仪器简介	102
二、Win 全站仪放样程序	102
三、Win 全站仪曲线测量程序	103
附录 4 索佳全站仪的应用	105
一、仪器简介	105
二、索佳全站仪放样程序	105
三、自由设站法	107
四、索佳全站仪圆曲线测量程序	107
参考文献	110

学习情境 6 线路中线测量

【情境描述】 铁路、公路、架空送电线路以及输油管道等均属于线型工程,他们的中心线统称为线路中线。将图上设计好的线路中线测设到实地上,这项工作称为线路中线测量。测设线路中线首先要把直线位置测设出来,然后再测设曲线。根据工作任务的不同,本情境分为三个子情境学习,分别是直线控制点及中心桩的测设、圆曲线测设和带有缓和曲线的综合曲线测设。

子情境 1 直线控制点及中心桩的测设

一、相关知识

修建一条铁路新线一般要经过方案研究、初测和初步设计、定测和施工设计等几个程序。

(一) 方案研究

在已有的小比例尺地形图上,找出线路可行性方案,初步选定线路重要的技术标准,如线路等级、限制坡度、牵引种类、运输能力等,提出修建线路的初步方案。

(二) 初测和初步设计

1. 初测

初测是为初步设计提供资料而进行的勘测工作。其主要任务是:提供沿线大比例尺带状地形图以及地质和水文资料。初测工作包括:插大旗、导线测量、高程测量、地形测量。

2. 初步设计

初步设计是在初测提供的带状地形图上,选定线路中心线的位置(亦称纸上定线),再经过技术、经济比较,进行方案比选,确定初步设计方案;同时确定线路的主要技术标准,如线路等级、限制坡度、最小半径等。

初测和初步设计工作结束后,带状地形图上已具有初步设计好的线路中心线和初测导线等设计资料,而地面上已建立有初测导线点等测量标志。

(三) 定测和施工设计

1. 定测

定测是为施工技术设计而做的勘测工作。其主要任务是,把已经上级部门批准的初步设计中所选定的线路中线测设到地面上,并进行线路的纵断面和横断面测量,对个别工程还要测绘大比例尺的工点地形图。

新线定测阶段的测量工作主要有:线路中线测量、线路纵断面测量和线路横断面测量。

2. 施工设计

施工设计是根据定测所取得的纵横断面测量资料,对线路全线和所有个体工程作出详细设计,并提供工程数量和工程预算。该阶段的主要工作是线路纵断面设计和路基设计,并对桥

涵、隧道、车站、挡土墙等作出单独设计。

(四)放 线

线路中线测量包括放线和中桩测设两部分工作。

放线就是把图纸上设计好的中线各交点间的直线段在实地上标定出来,也就是把直线部分的控制桩(交点、转点)测设到地面上。

放线的常用方法有三种:支距法、拨角法和极坐标法。

1. 支距法

支距法的具体测设步骤如下:

(1)量支距

图 6-1 为初步设计后略去等高线和地物的带状平面图。 C_{47} 、 C_{48} 、 $\cdots$ 、 C_{52} 为初测导线点, JD_{14} 、 JD_{15} 、 JD_{16} 为设计线路中心的交点。支距就是从各导线点作垂直于导线边的直线,交线路中心线于 47、48、 $\cdots$ 、52 等点,垂线长度称为支距,如 d_{47} 、 d_{48} 、 $\cdots$ 、 d_{52} 等。然后以相应的比例尺在图上量出各点的支距长度,便得出支距法的放样数据。

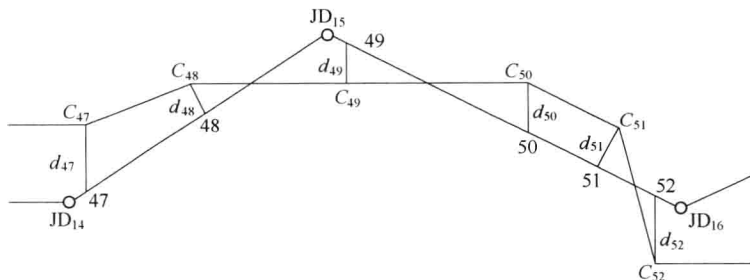


图 6-1 支距法放线

(2)放支距

采用支距法放线时,将经纬仪安置在相应的初测导线点上,例如导线点 C_{47} 上,以导线点 C_{46} 定向,拨直角,在视线方向上量取该点上的支距长度 d_{47} ,定出线路中心线上的 47 号点,同法逐一放出 48、49、 $\cdots$ 、52 各点。

为了检查放样工作,每一条直线边上至少放样三个点。由于原测导线、图解支距和放样的误差影响,同一条直线段上的各点放样出来以后,一般不可能在同一条直线上。根据线路本身的要求,必须将它们调整到同一直线上,这项工作称为穿线。

2. 拨角法

当初步设计的图纸比例尺较大,交点的图上量取坐标比较精确可靠或线路的平面设计为解析设计时,定线测量可采用拨角法定线。使用这种方法时,首先根据导线点的坐标和交点的设计坐标,用坐标反算方法计算出测设数据,然后用极坐标法、距离交会法或角度交会法测设交点。如图 6-2 所示,拨角放线时首先确定分段放线的起点 JD_{13} 。这时可将经纬仪置于 C_{45} 点上,以 C_{46} 定向,拨 β_0 角,量取水平距离 L_0 ,即可定出 JD_{13} 。然后迁仪器至 JD_{13} ,以 C_{45} 点定向,拨 β_1 角,量 L_1 定 JD_{14} 。同法放样其余各交点。

为了减小拨角放线的误差积累,每隔 5 km,将放样的交点与初测导线点联测,求出交点的实际坐标,与设计坐标进行比较,求得闭合差。若闭合差超过 $\pm 1/2\ 000$,则应查明原因,修正放样的点位。若闭合差在允许的范围以内,对前面已经放样的点位常常不加修正,而是按联测

所得的实际坐标推算后面交点的放样数据,继续放线。

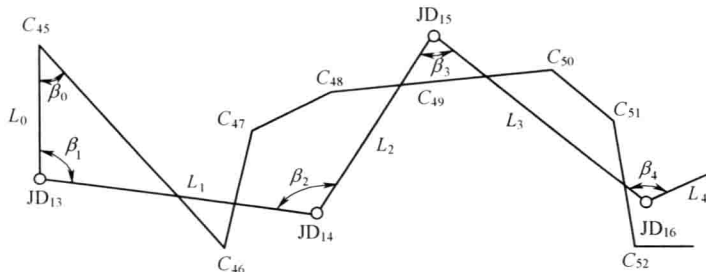


图 6-2 拨角法放线

3. 极坐标法

极坐标法是根据初测导线点和直线转点、交点的坐标,通过坐标反算计算出角度和距离,然后在导线点上安置仪器,测设相应的角度和距离,将各 ZD、JD 测设到地面上。与拨角法不同的是,极坐标法可在一个导线点上安置仪器,同时测设几条直线上的若干个点。如图 6-3 所示,全站仪安置在导线点 C_4 上,可同时测设出 A 、 B 、 $\dots$ 、 G 等点。

极坐标法放线的检核方法有两种,一种是用穿线法检查各转点是否在同一直线上,另一种是在其他测站上安置仪器,定向后实测各转点的坐标与计算值比较,如果出现较大偏差,说明存在测设错误,应查找原因予以纠正。若用全站仪或光电测距仪按极坐标法进行放线时,各转点的坐标是按其里程或间距推算的,其计算误差很小,实际的点位误差主要是测设时的测量误差,一般仅有几毫米,可不作调整。

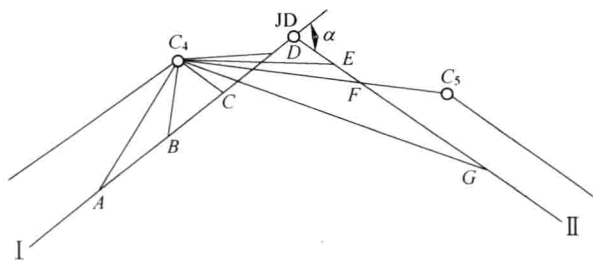


图 6-3 极坐标法放线

极坐标法放线时,若利用全站仪的坐标放样功能测设点位,只需输入相关点的坐标值,不需做任何手工计算,由仪器自动计算数据。全站仪放样是目前现场最常用的放线方法。

二、作业准备

利用全站仪坐标放样功能进行直线控制点和中心桩的测设,需做好如下准备工作。

(一)放样数据

1. 导线点坐标:即初测导线点坐标,在初测的导线测量中已建立了导线点并获取了坐标。
2. 放样点坐标:放样所需的设计数据应从带状地形图上量取或直接取自解析设计。

(二)仪器设备

开工前应准备好下列放样设备:

1. 全站仪,拉杆棱镜,小钢尺;
2. 锤子,木桩,小钉,铅笔或毛笔,油漆等。

三、作业计划与实施

(一)放 线

1. 全站仪坐标放样

此处介绍苏一光 Win 全站仪的放样程序。

双击 **FOIF**, 进入程序界面;

(1) 选择 **新建项目**, 建立项目名;

输入文件名: _____ (可用自己的名字做文件名, 也可用项目名或日期做文件名)

点击 **保存**

(2) 选择 **常规测量**, 建立数据文件;

输入点, 名称: _____ (即点名或点号)

代码: _____ (即点的属性, 可以选择, 也可以不输入)

坐标: N _____ (即 X 坐标)

E _____ (即 Y 坐标)

Z _____ (即高程 H, 平面点位放样时可以不输入)

点击 **新建** 即可输入下一点。

输完所有点后点击 **ESC**。

(3) 选择 **常规测量**, 进行测站和后视设置;

① 选择 **测站设置**, 进行测站设置;

选择测站点: _____ > (点击 >, 通过 **列表选取**, 选择测站点)

点击 **确定**, 完成测站设置。

② 选择 **后视**, 进行后视定向;

选择 **坐标定向**

选择后视点: _____ > (点击 >, 通过 **列表选取**, 选择后视点)

点击 **计算**, 后视方向值即计算出来。

然后瞄准后视点, 点击 **设角**。

(实际工作中点击完 **设角**, 还需要点击 **检查**, 对后视点进行实际测量, 检查后视点是否正确。)

点击 **确定**, 后视定向完成。

点击 **翻页** 至下一界面。

(4) 选择 **坐标放样**, 进入放样界面;

① 放样点: _____ > (点击 >, 通过 **列表选取**, 选择放样点)

点击 **确定**, 仪器即显示出水平方向的角度旋转值。

② 根据提示, 转动仪器照准部至角度旋转值变为 0-00-00, 此时仪器视线即为放样点所在方向。

③ 指挥棱镜左右移动至仪器视线上去; (指挥拉杆底部尖移动)

整平棱镜并照准棱镜；

点击[测距符号]（仪器测距图标），仪器开始测距（若没信号，可能是棱镜未对上）；

测距完成后即显示出棱镜应移动的方向（远或近）和距离。

④根据提示，指挥棱镜沿视线方向前后移动，直至距离差值为0（小钢尺配合），找到放样点。

（此处需要反复操作，兼顾方向和距离都正确，确保放样的点位精度。）

2. 穿线

支距法和极坐标法放线后，一般要经过穿线来确定直线段的位置。如图6-4所示，50、51、52为支距法放样出的中心线标点，由于图解数据和测设工作的误差，使测设的这些点位没严格在一条直线上。可用经纬仪或全站仪视准法，定出一条直线，使之尽可能靠近这些测设点，该项工作称为穿线。根据穿线的结果得到直线段上的A、B点，称为转点。通过穿线工作，中心线上的直线位置就由转点A、B（也可用ZD₁、ZD₂）标定了出来。

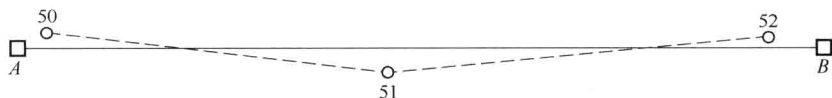


图 6-4 穿线

3. 定交点

当相邻两条直线在实地放出后，还要定出线路中心的交点。交点是线路中线的重要控制点，是放样曲线主点和推算各点里程的依据。如图6-5所示，测设交点时，可先在49号点上安置经纬仪或全站仪，以48号点定向，用正倒镜分中的方法，在48-49直线延长线上设立两个木桩a和b，使a、b分别位于51-50延长线的两侧（a、b两点称为骑马桩），钉上小钉，并在其间拉一细线。然后安置仪器于50号点，用正倒镜分中的方法延长51-50直线，在仪器视线与骑马桩间的细线相交处钉交点桩，并钉上小钉，表示点位，同时在桩的顶面用红油漆写明交点号数（JD₁₅）。

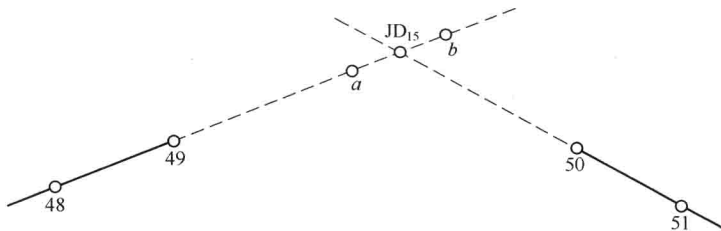


图 6-5 测设交点

为了寻找点位及标记里程方便，在曲线外侧，距交点桩30 cm处，钉一标志桩，面向交点桩的一面应写明交点号数（JD₁₅）及定测的里程。

4. 测转向角

在线路前进方向的每个交点处，前视方向偏离后视方向之延长线的转折角，称为转向角。交点钉完后就可测定直线的转向角（有时也叫转角）。如图6-6所示，使用经纬仪，采用测回法测量交点处的右角 β ，则转向角 α 按下式计算：

$$\alpha_{\text{右}} = 180^\circ - \beta_{\text{右}} (\beta_{15} < 180^\circ) \quad (6-1)$$

或

$$\alpha_{\text{左}} = \beta_{\text{右}} - 180^\circ (\beta_{16} > 180^\circ) \quad (6-2)$$

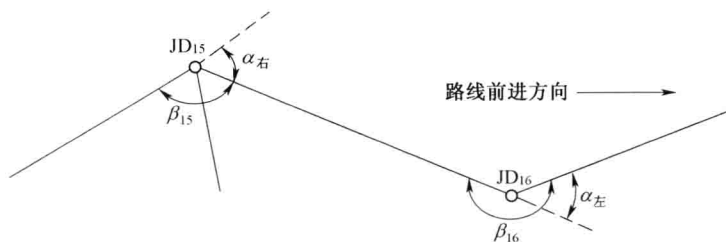


图 6-6 测量转向角

推算转向角时,当右角 $\beta < 180^\circ$,推算的转向角 α 为右转(JD₁₅);当右角 $\beta > 180^\circ$,推算的转向角 α 为左转(JD₁₆)。

(二) 中桩测设及标定

放线工作完成以后,根据地面上已有的转点桩(ZD)和交点桩(JD),把在带状地形图上设计好的线路直线段和曲线段详细地测设到地面上,并用木桩标定出来,称为中桩测设。中线上的桩按下列几种要求设置。

1. 控制桩

对线路位置起控制作用的桩称为控制桩。直线上的控制桩有交点桩(JD)和直线转点桩(ZD);曲线上也有一系列控制桩。控制桩通常用 4~5 cm 见方的方桩钉入地面,桩顶与地面平齐,并钉一小钉表示精确的点位,小钉周围常涂红油漆以便于寻找。所有控制桩还应设置标志桩。

2. 标志桩

直线和曲线上的控制桩均应设置标志桩。在距离控制桩 30 cm 处钉标志桩。标志桩用宽 5~8 cm 的板桩,面向控制桩的一面写明点的名称、编号和里程。直线段的标志桩钉在线路前进方向的左侧;曲线段的标志桩则钉在曲线的外侧。标志桩桩顶上不需钉小钉。

3. 里程桩

(1)里程:里程是指由线路起点算起,沿线路中线到该中线桩的距离。一般表示形式如 26+284.56,“+”号前为公里数,即 26 km,“+”后为米数,即 284.56 m。在里程前还要冠以不同的字母,以表示不同阶段或不同线路的里程。例如:CK 表示初测导线的里程,DK 表示定测中线的里程,K 则表示竣工后的连续里程。

(2)里程桩:在里程为整百米处钉设百米桩,在里程为整公里处钉设公里桩。在地形明显变化和线路与其他道路管线交叉处应设置加桩,加桩一般设在整米处。

需钉设加桩的地方有:

- ①沿中线方向纵、横向地形变化处,地质不良地段变化处;
- ②线路与其他道路、管线、通讯及电力线路等的交叉处;
- ③大型建筑工程地段,如隧道洞口、大中桥两端、小桥涵、挡土墙等构筑物处。

百米桩、公里桩及加桩统称为里程桩。里程桩应钉设宽 4~5 cm 的板桩,向着起点方向的一面写明里程,桩顶上也不需钉小钉。

4. 其他中线桩及要求

在直线上每 50 m、在曲线上每 20 m 还应钉中线桩(加密)。若地形平坦、曲线半径大于 800 m 时,中线桩间距可放宽至 40 m。圆曲线的中桩里程宜为 20 m 的整数倍。

中线距离应用光电测距仪或钢尺往返测量,在限差以内时取平均值。百米桩、加桩的钉设以第一次量距为准。

按《工程测量规范》要求,中线桩位误差不应超过下列规定:

纵向误差: $\left(\frac{S}{2\ 000} + 0.1\right) (\text{m})$

横向误差: $\pm 10\text{ cm}$

式中, S 为转点至桩位的距离(m)。

子情境2 圆曲线测设

一、相关知识

圆曲线就是用一段圆弧(半径 R 固定)连接两相邻直线,是最简单的一种曲线形式。主要用于铁路专用线和低等级公路。圆曲线测设一般分两步进行:一是圆曲线控制点(也称主点)的测设;二是圆曲线详细测设。

(一)圆曲线主点名称

圆曲线主点有三个点,按线路前进方向冠名,如图 6-7 所示。

直圆点(ZY)——从直线进入圆曲线的分界点。

曲中点(QZ)——圆曲线中点。

圆直点(YZ)——从圆曲线进入直线的分界点。

交点(JD)——两直线的相交点。

以上 ZY、QZ、YZ 三点是确定圆曲线位置的主要控制点,称为主点。

主点测设前应进行必要的计算,包括要素计算、主点里程推算。

(二)圆曲线要素计算

圆曲线要素包括:

切线长——直圆点(或圆直点)至交点的距离,用 T 表示。

曲线长——直圆点至圆直点的曲线长,用 L 表示。

外矢距(外距)——交点至曲中点的距离,用 E_0 表示。

切曲差(超距)——两切线之和与曲线长之差,用 q 表示, $q = 2T - L$ 。

其中切线长 T 、曲线长 L 和外矢距 E_0 用于主点测设和主点里程计算,切曲差 q 用于计算里程时的校核。

$$\text{切线长} \quad T = R \times \tan \frac{\alpha}{2} \quad (6-3)$$

$$\text{曲线长} \quad L = R \times \alpha \times \frac{\pi}{180^\circ} \quad (6-4)$$

$$\text{外矢距} \quad E_0 = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = R \left[\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right] \quad (6-5)$$

$$\text{切曲差} \quad q = 2T - L \quad (6-6)$$

式中 R ——圆曲线半径,是设计已知值;

α ——转向角,由外业观测获得,按线路前进方向,转向角分为左转和右转,表示为

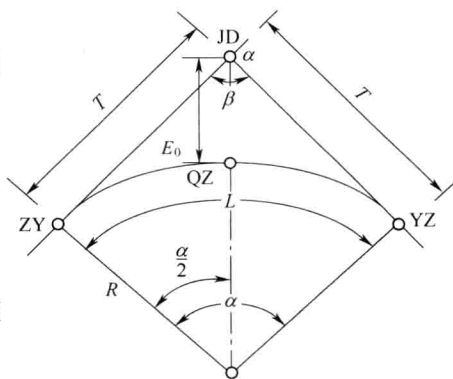


图 6-7 圆曲线

$\alpha_{\text{左}}$ 和 $\alpha_{\text{右}}$, 或 α_z 和 α_y 。

(三) 主点里程计算

主点里程是根据交点里程和圆曲线要素推算而得。

铁路习惯推算方法:

$$\text{ZY 里程} = \text{JD 里程} - T$$

$$\text{QZ 里程} = \text{ZY 里程} + \frac{L}{2}$$

$$\text{YZ 里程} = \text{QZ 里程} + \frac{L}{2}$$

校核计算:

$$\text{YZ} = \text{ZY} + 2T - q$$

公路习惯推算方法:

$$\text{ZY 里程} = \text{JD 里程} - T$$

$$\text{YZ 里程} = \text{ZY 里程} + L$$

$$\text{QZ 里程} = \text{YZ 里程} - \frac{L}{2}$$

校核计算:

$$\text{JD} = \text{QZ} + \frac{q}{2}$$

【例 6-1】 已知转向角 $\alpha_{\text{右}} = 18^\circ 22' 00''$, 圆曲线半径 $R = 550 \text{ m}$, JD 的里程为 DK18+286.28, 试计算圆曲线要素和主点里程(计算至 cm)。

解: (1) 圆曲线要素计算

$$T = 550 \times \tan \frac{18^\circ 22' 00''}{2} = 88.92(\text{m})$$

$$L = 550 \times 18^\circ 22' 00'' \times \frac{\pi}{180^\circ} = 176.31(\text{m})$$

$$E_0 = 550 \times \left(\sec \frac{18^\circ 22' 00''}{2} - 1 \right) = 7.14(\text{m})$$

$$q = 2T - L = 2 \times 88.92 - 176.31 = 1.53(\text{m})$$

(2) 主点里程计算

主点里程推算和校核一般按下列竖式运算格式进行。

推算:

JD 里程	DK18+286.28
-) T	88.92
ZY	DK18+197.36
+) L/2	+88.155
QZ	DK18+285.515(*)
+) L/2	+88.155
YZ	DK18+373.67

校核:

ZY	DK18+197.36
+) 2T	177.84
	DK18+375.20
-) q	1.53
YZ	DK18+373.67

(校核完成。)

(四)圆曲线详细测设资料计算

曲线详细测设是指为满足施工要求,在主点桩放样以后,在曲线上加密中线桩的工作。中桩间距要求,平曲线上中桩间距宜为 20 m,当地势平坦且曲线半径大于 800 m 时,其中桩间距可为 40 m。一般公路的曲线半径较小,中桩间距可设为 5 m 或 10 m。圆曲线要求设桩位置是从曲线起点(终点)算起,第一点的里程凑成整数,并为中桩间距的整数倍,然后按整桩距设点。例如:ZY 里程为 K18+035.216,中桩间距为 20 m,第一点里程为 K18+040,第二点为 K18+060……以此类推。

二、作业准备

(一)仪器设备

开工前应准备好下列放样设备:

- (1)全站仪,拉杆棱镜,小钢尺;
- (2)锤子,木桩,小钉,铅笔或毛笔,油漆等。

(二)测设资料

随着计算机辅助设计和全站仪的普及,建立全线统一测量坐标系,采用全站仪坐标放样功能进行中线测量,已成为线路测量的一种简便、迅速、精确的方法。

如图 6-8 所示,已知起点~JD₁ 的坐标方位角 $\alpha_{\text{起-JD}_1}$,已知 JD₁~JD₂ 方向的坐标方位角 $\alpha_{\text{JD}_1\text{-JD}_2}$,又已知 JD₁ 坐标(X_{JD_1} 、 Y_{JD_1})。计算圆曲线上各点的坐标可按下列步骤完成。

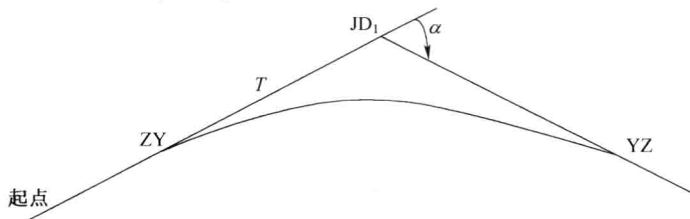


图 6-8 圆曲线在统一坐标系中的坐标

1. ZY、YZ 点的坐标计算

根据 JD₁ 的坐标和方位角 $\alpha_{\text{起-JD}_1}$,由坐标正算可推得 ZY 点的坐标为:

$$\begin{cases} X_{\text{ZY}} = X_{\text{JD}_1} - T \cdot \cos \alpha_{\text{起-JD}_1} \\ Y_{\text{ZY}} = Y_{\text{JD}_1} - T \cdot \sin \alpha_{\text{起-JD}_1} \end{cases} \quad (6-7)$$

$$\text{同理,推得 YZ 点的坐标为:} \begin{cases} X_{\text{YZ}} = X_{\text{JD}_1} + T \cdot \cos \alpha_{\text{JD}_1\text{-JD}_2} \\ Y_{\text{YZ}} = Y_{\text{JD}_1} + T \cdot \sin \alpha_{\text{JD}_1\text{-JD}_2} \end{cases} \quad (6-8)$$

2. 圆曲线上任一点 i 的坐标计算

(1)计算偏角 δ_i

如图 6-9 所示, i 点为圆曲线上任意一点, φ_i 为圆心角, δ_i 是弦切角(又称偏角),则有:

$$\begin{cases} \varphi_i = \frac{l_i}{R} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (^\circ) \\ \delta_i = \frac{1}{2} \varphi_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{l_i \cdot 180}{\pi R} = \frac{90 l_i}{\pi R} \quad (^\circ) \\ c_i = 2R \cdot \sin \frac{\varphi_i}{2} = 2R \cdot \sin \delta_i \end{cases} \quad (6-9)$$

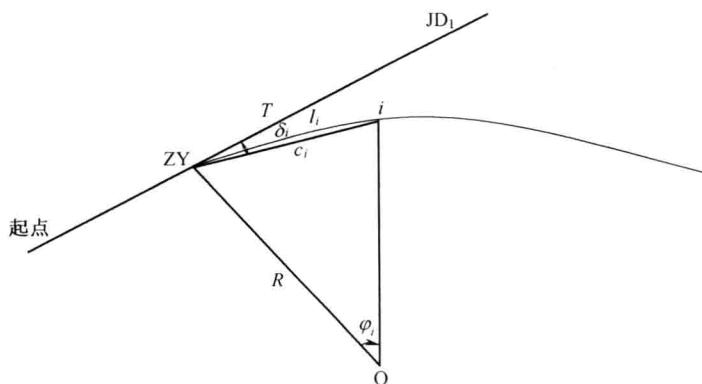


图 6-9 圆曲线上任一点在统一坐标系中的坐标

式中 i ——圆曲线上任一点;

l_i ——圆曲线上 i 点至 ZY 点的曲线长(又称累计弧长);

c_i ——圆曲线上 i 点至 ZY 点的弦长。

(2) 计算 ZY 点至 i 点的坐标方位角 α_{ZY-i}

根据方位角的概念可得: $\alpha_{ZY-i} = \alpha_{起-JD_1} \pm \delta_i$ (右转曲线为+, 左转曲线为一)

(3) 计算 i 点的坐标

根据 ZY 点的坐标, 由坐标正算可推得 i 点的坐标分别为:

$$\begin{cases} X_i = X_{ZY} + c_i \cdot \cos \alpha_{ZY-i} \\ Y_i = Y_{ZY} + c_i \cdot \sin \alpha_{ZY-i} \end{cases} \quad (6-10)$$

【例 6-2】 如图 6-10 所示圆曲线, 已知 $\alpha = 45^\circ 16' 30''$, $R = 300$ m, $\alpha_{起-JD_1} = 38^\circ 46' 38''$, 起点坐标 $X_{起} = 0.000$ m, $Y_{起} = 0.000$ m。 JD_1 坐标 $X_{JD_1} = 124.987$ m, $Y_{JD_1} = 100.410$ m。

试计算圆曲线的要素、各主要点里程和各加密点坐标(中桩间距为 20 m)。

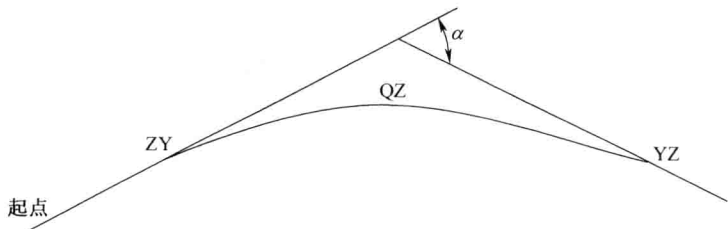


图 6-10 圆曲线计算

解: (1) 圆曲线要素(计算至 mm)

$$T = 300 \times \tan \frac{45^\circ 16' 30''}{2} = 125.108(\text{m})$$

$$L = 300 \times 45^\circ 16' 30'' \times \frac{\pi}{180^\circ} = 237.059(\text{m})$$

$$E_0 = 300 \times \left(\sec \frac{45^\circ 16' 30''}{2} - 1 \right) = 25.042(\text{m})$$

$$q = 2T - L = 2 \times 125.108 - 237.059 = 13.157(\text{m})$$

(2) 各主点里程

$$\text{因为 } D_{起-JD_1} = \sqrt{(X_{JD_1} - X_{起})^2 + (Y_{JD_1} - Y_{起})^2} = 160.324(\text{m})$$

所以 ZY 里程 = 160.324 - 125.108 = 35.216 m, 记为 DK0+035.216

里程推算:

ZY	DK0+035.216
+)L/2	+118.529 5
QZ	DK0+153.745 5(*)
+)L/2	+118.529 5
YZ	DK0+272.275

校核:

ZY	DK0+35.216
+)2T	+250.216
	DK0+285.432
-)q	-13.157
YZ	DK0+272.275

(3)ZY 及 YZ 点坐标

(计算合格。)

$$\begin{aligned}\textcircled{1}X_{ZY} &= X_{JD_1} - T \cdot \cos\alpha_{起-JD_1} = 124.987 - 125.108 \cdot \cos 38^\circ 46' 38'' \\ &= 124.987 - 97.533 = 27.454(\text{m})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{ZY} &= Y_{JD_1} - T \cdot \sin\alpha_{起-JD_1} = 100.410 - 125.108 \cdot \sin 38^\circ 46' 38'' \\ &= 100.410 - 78.354 = 22.056(\text{m})\end{aligned}$$

$$\textcircled{2}\alpha_{JD_1-JD_2} = \alpha_{起-JD_1} + \alpha = 38^\circ 46' 38'' + 45^\circ 16' 30'' = 84^\circ 03' 08''$$

$$\begin{aligned}\textcircled{3}X_{YZ} &= X_{JD_1} + T \cdot \cos\alpha_{JD_1-JD_2} = 124.987 + 125.108 \cos 84^\circ 03' 08'' \\ &= 124.987 + 12.964 = 137.951(\text{m})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{YZ} &= Y_{JD_1} + T \cdot \sin\alpha_{JD_1-JD_2} = 100.410 + 125.108 \sin 84^\circ 03' 08'' \\ &= 100.410 + 124.435 = 224.845(\text{m})\end{aligned}$$

(4)各加密点的坐标

圆曲线上每 20 m 设一点, 第一点里程应凑整为 DK0+040, 其至 ZY 点的曲线长为 $l_1 = 40 - 35.216 = 4.784$, 则: $\textcircled{1}\delta_1 = \frac{90 \times 4.784}{\pi \cdot 300} = 0^\circ 27' 25''$

$$c_1 = 2 \times 300 \cdot \sin 0^\circ 27' 25'' = 4.784(\text{m})$$

$$\textcircled{2}\alpha_{ZY-1} = \alpha_{起-JD_1} + \delta_1 = 38^\circ 46' 38'' + 0^\circ 27' 25'' = 39^\circ 14' 03''$$

$$\begin{aligned}\textcircled{3}X_1 &= X_{ZY} + c_1 \cdot \cos\alpha_{ZY-1} = 27.454 + 4.784 \cos 39^\circ 14' 03'' \\ &= 27.454 + 3.706 = 31.160(\text{m})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_1 &= Y_{ZY} + c_1 \cdot \sin\alpha_{ZY-1} = 22.056 + 4.784 \sin 39^\circ 14' 03'' \\ &= 22.056 + 3.026 = 25.082(\text{m})\end{aligned}$$

第二点里程为 DK0+060, 其至 ZY 点的曲线长为 $l_2 = 20 + 4.784 = 24.784$ m (累计弧长), 则依据上法可计算出 δ_2 、 c_2 和 X_2 、 Y_2 。依此类推, 分别计算其他各加密点的坐标, 并将所算各点坐标列入表格, 如表 6-1 所示(备注栏为各点的累计弧长 l_i 、偏角 δ_i 和弦长 c_i)。

表 6-1 圆曲线各点坐标表

点号	里程	X(m)	Y(m)	备注(各点 l_i 、 δ_i 、 c_i)
ZY	DK0+035.216	27.454	22.056	$l_1 = 4.784$ $\delta_1 = 0^\circ 27' 25''$
1	+040	31.160	25.082	$c_1 = 4.784$ $l_2 = 24.784$
2	+060	46.113	38.358	$\delta_2 = 2^\circ 22' 00''$ $c_2 = 24.777$
3	+080	60.148	52.601	$l_3 = 44.784$ $\delta_3 = 4^\circ 16' 36''$
4	+100	73.219	67.747	$c_3 = 44.742$ $\delta_4 = 64.784$
5	+120	85.220	83.730	$\delta_4 = 6^\circ 11' 11''$ $c_4 = 64.658$