



21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

公路计算机 辅助技术

Gonglu Jisuanji

Fuzhu Jishu

◇沈艳东 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

公路计算机辅助技术

沈艳东 编著

U412.6

S420

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

公路计算机辅助技术/沈艳东编著. —北京: 北京理工大学出版社,
2010. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2574 - 8

I. 公… II. 沈… III. 计算机应用 - 道路工程 - 高等学校: 技术学
校 - 教材 IV. U41 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 224420 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9

字 数 / 205 千字

版 次 / 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前言

目前,计算机作为大众化的工具在我国以前所未有的速度渗透生活和工作的各个领域,它已经深深地影响到我们的生活、工作的各个方面。如今,随着计算的普及和应用,在公路工程建设过程中,计算机的应用也越来越广泛,比如设计中应用计算机软件进行设计,在施工中应用相关的软件进行计量和相关的试验数据的处理,但是不论采用何种软件应用,其基本原理都和公路工程技术有着非常紧密的联系。本书就计算机在公路工程中的应用进行简单阐述,让读者在公路建设过程中使用计算机完成各种工作,从而降低劳动强度提高工作效率。

《公路计算机辅助技术》是交通类院校公路与桥梁专业的必修课。本书是以公路工程实际项目操作进行编写的。结合高等教育的特点,注重实践教学,使学生通过学习能系统地掌握计算机的使用,不通过编程即可进行公路数据计算的一些方法。教材具有较强的综合性、实践性和职业性。因此在教学过程中应突出重点,以掌握基本概念和应用为主。根据具体情况,积极创造条件,使用录像投影机房等电化教学手段,以提高教学效果。

本书以工程实际为例,介绍 Excel、AutoCAD 在工程中的具体使用方法,使具有基本计算机使用能力的人员能够应用以上软件处理工程问题。书中介绍了目前在公路工程设计过程中应用比较广泛的纬地路线软件和海德纵横造价软件的操作方法。

本书由沈艳东副教授编写。本书在编写过程中得到很多公路部门和学院教师如刘仲波、王东杰、李瑞涛等的大力支持和帮助,并提出不少宝贵意见,同时还引用了前辈们已经取得的众多成果,使本教材内容更加丰富、充实,在此特致诚挚的谢意!

由于时间仓促,探索认知偏颇,发展预见不足,加之编者水平有限,缺点和错误在所难免,诚望读者批评指正。

编者

目 录

项目一 Excel 在公路工程中的应用	1
任务一 Excel 的应用	2
学习情境一 Excel 的基本情况	2
学习情境二 创建计算公式	4
学习情境三 认识 Excel 2003 的运算符	6
实践教学情景 Excel 的基本练习	8
任务二 平曲线计算	9
学习情景一 平曲线计算的专业知识	9
学习情景二 Excel 编写的计算过程	12
实践教学情景 Excel 工程应用一	23
任务三 坐标计算	24
学习情境一 坐标计算专业知识	24
学习情境二 编写 Excel 坐标计算	27
实践教学情景 Excel 工程应用二	38
任务四 高程的计算	40
学习情景一 高程计算的专业知识	40
学习情景二 Excel 编写超高计算	42
实践教学情景 Excel 工程应用三	44
任务五 试验数据的计算	45
学习情景一 压实度的检测	45
学习情景二 Excel 编写压实度计算表格	49
实践教学情景 Excel 工程应用四	53
项目二 AutoCAD 在公路中的应用	55
任务一 AutoCAD 的基本应用	56
学习情景一 AutoCAD 绘图基本知识	56
学习情景二 AutoCAD 基本绘图应用	61
实践教学情境 AutoCAD 工程应用一	66
任务二 平面图的绘制	68
学习情景一 相关的专业知识	68
学习情景二 平面图的绘制过程	68
实践教学情景 AutoCAD 工程应用二	78
任务三 纵断面的绘制	78

学习情景一 相关的专业知识	78
学习情景二 纵断面绘制	82
实践教学情景 AutoCAD 工程应用三	91
任务四 路面结构图的绘制	92
学习情景一 相关的专业知识	92
学习情景二 路面结构图绘制	94
实践教学情景 AutoCAD 工程应用四	102
项目三 软件的应用	103
任务一 纬地路线软件的应用	104
学习情景一 施工图设计简述	105
学习情景二 纬地软件应用	108
实践教学情景 纬地软件的工程应用	124
任务二 纵横预算软件的介绍	126
学习情景一 施工图预算介绍	126
学习情境二 纵横预算软件应用	127
实践教学情景 海德纵横软件的工程应用	133
附录 部分施工图设计及图号编制	135
参考文献	137

项目一

Excel 在公路工程中的应用

项目 1: Excel 在公路工程中的应用	第二学年 基准学时: 20 其中, 理论: 10, 校内实训: 10, 企业实训: 0	项目综述: 以公路工程施工过程中已施工计算数据项目为载体, 提高学生基础知识、基本技能、学生理论基础、计算机操作意识和工程数据分析计算能力, 培养学生吃苦耐劳的职业品质和敬业精神
总体目标: 考虑合理的工作过程、工作保护和环境保护的条件, 学生完成公路施工过程中出现的采用 Excel 进行数据计算的基本原理知识的学习。由于公路在工程施工过程中要满足数据计算的使用要求, 具有多样性和易变性, 因此学生应该灵活运用基础知识解决工程数据计算问题 知识目标: 计算机 Office 软件中 Excel 基本知识的应用, 及各种函数的运用 能力目标: 根据理论知识进行灵活和熟练运用 Excel 软件进行数据的计算和分析 素质目标: 工作认真负责, 有协作精神, 良好的劳动纪律, 养成按规范标准进行质量控制的职业素养, 以及认真做事的工作态度		
专业内容: 作为公路施工过程数据计算的基础, 确定相应基本函数的应用, 为后期进行工程数据计算奠定基础	宏观教学方法: 项目教学法结合案例教学和多媒体展示 微观教学方法: 讲授法 基本理论的讲解建议采用多媒体或常规教学的讲授法 案例教学法 Excel 的基本应用 六步教学法 适用于每个教学情境 基于施工过程的数据教学法 整个项目建议以具体工程的数据计算为基础 边讲边练教学法 有实践的教学环节建议使用此种方法 教学组织: 校内 理论知识集中授课; 技能训练分组教学, 总工负责技术, 组长负责组织 企业顶岗 在现场工程师指导下参与公路施工数据的计算	
媒介: 以教科书、黑板、课件、模型、视频教学、照片和投影等为基本媒体; 案例教学以工作页、表格、计算器、视频教学为媒体; 项目实训以试验仪器设备、行业规范、行业标准、实训场地为媒体进行现场教学	参与者需要的知识: 工程测量、公路设计知识、路基路面基础知识、公路施工基础知识和工程识图基本知识 参与者需要的技能: 计算技能、绘图技能、施工过程管理、组织设计、团队协作和职业道德	教师需要的能力: 具有扎实的专业理论基础和丰富的实践经验; 恰当运用各种教学方法, 具备熟练应用行动导向的教学方法的能力, 实现理论实践一体化的组织教学能力; 掌握实际工程项目资料, 准备教案、活页教材、实训场地和仪器设备; 带领学生学习公路施工基础知识和基本技能, 调动学生的积极性, 能够引导、启发、咨询、评价、表扬学生, 激发学生专业兴趣

任务一 Excel 的应用

Excel 是 Office 软件包中的表格处理软件，通常称为电子表格处理，顾名思义就是可以对表格中的数据进行行之有效地处理，Excel 能够动态地处理需要的数据，帮助我们对数据的计算和分析。

学习情境一 Excel 的基本情况

中文版 Office 2003 软件包中提供了一个名为 Excel 2003 的软件，这是一个用于建立与使用电子报表的实用程序，也是一种数据库软件，用于按表格的形式来应用数据记录。专业数据库管理系统软件 Visual FoxPro 也能建立电子报表，但中文 Excel 2003 却是一个电子报表的专业软件，也常用于处理大量的数据信息，特别适用于数字统计，而且能快速制定出表格。

中文版 Excel 2003（下面简称 Excel 2003）是 Microsoft Office 2003 软件包中文版的组成部分。按启动 Windows 应用的方法运行后，屏幕上就会显示其操作窗口，并且打开一张名为 Book1（工作簿 1）的电子报表，但没有任何内容，而是等待着被建立，本教程将从此开始讲述。

注意：“工作簿”在 Microsoft Excel 中是处理和存储数据的文件，每一个工作簿都可以包含多张工作表，因此可在一份文件中管理多种类型的相关信息；“工作表”就是显示在屏幕上的，由表格组成的一个区域，如图 1-1-1 所示。此区域称为“工作表区”，各种数据将通过它来输入显示。

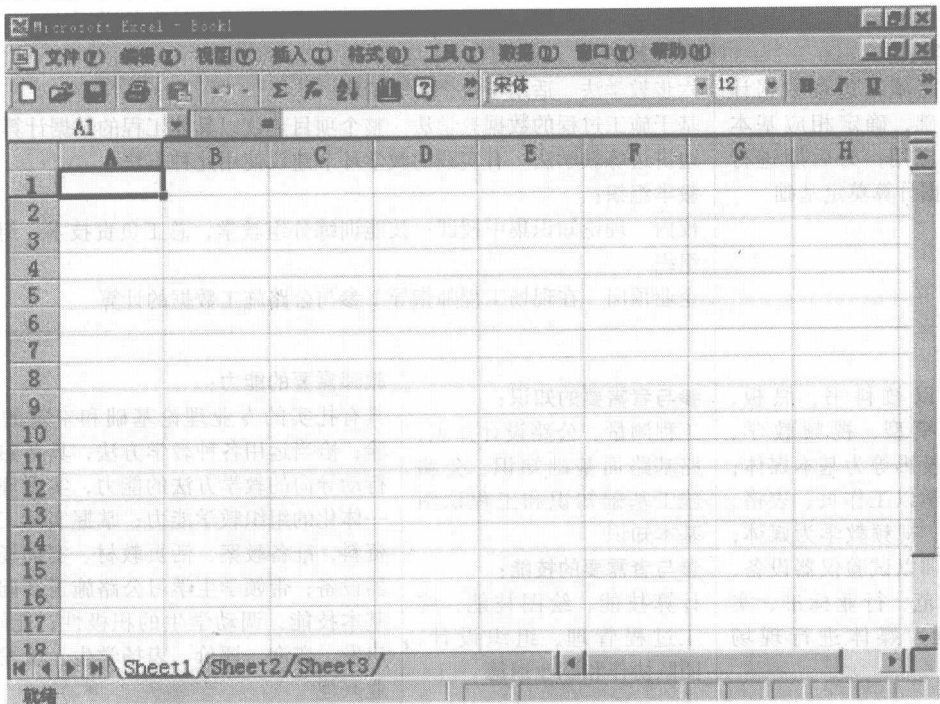


图 1-1-1 进入中文 Excel 2003 的操作窗口

Excel 2003 也使用“字段”、“记录”等 Visual FoxPro 中的对象，但应用方法却大不一样，下面将以建立一张员工工资表的操作来说明这一点。

步骤一 在图 1-1-2 中，单击 A1 单元格。

Excel 2003 操作窗口仍然由标题栏、下拉菜单、工具栏、状态栏等组成。位于工具栏下方的就是建立电子表格的“工作表区”，它提供了一系列的单元格，每个元格也各有一个名称，将光标移至单元格内后，其状态将变成一个十字形，如图 1-1-2 所示。工具栏下方标记的 A、B、C、D……分别用于标明表格中的各列，表格左边缘的数字则标明各行，“列标”与“行号”用于确定一个单元格的位置，如 A1 表示 A 列中的第一行单元格，C3 就表示 C 列中的第三行单元格。在 Excel 2003 的操作窗口中，所提供的单元格数目非常大，但全部被应用的情况是罕见的，通常只用到其中的一部分，甚至只是一小部分。

注意：“工作表区”由工作表及其单元格、网格线、行号列标、滚动条和工作表标签构成。“列标”就是各列上方的灰色字母，“行号”就是位于各行左侧的灰色编号区。

步骤二 输入“姓名”，如图 1-1-3 所示。在电子表格中，“列”与数据库中的“字段”相当，“行”与“记录”相当，这里输入的“姓名”将成为一个新的字段。

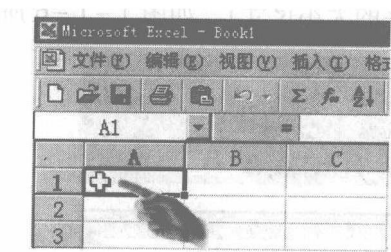


图 1-1-2 单击 A1 单元格

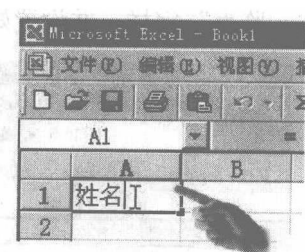


图 1-1-3 输入“姓名”

步骤三 按一下键盘上的向右方向键，然后输入“年龄”，接着在位于 B 右边的两列中分别输入“职务”、“工资额”，如图 1-1-4 所示。

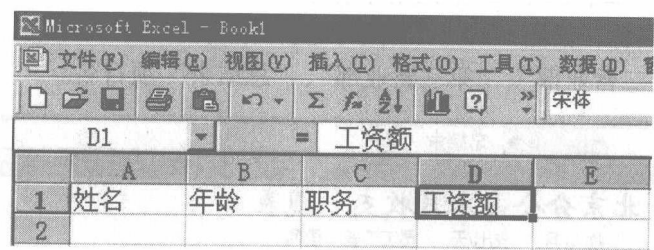


图 1-1-4 输入“职务”和“工资额”

使用键盘上的左、右、上、下方向键可以将光标移至各单元格上，就选定了当前单元格，这时就可以在各单元格中输入文字信息。

步骤四 如图 1-1-5 所示，移动鼠标单击 A2 单元格，然后参照上面的内容，输入其他单元格中的内容。

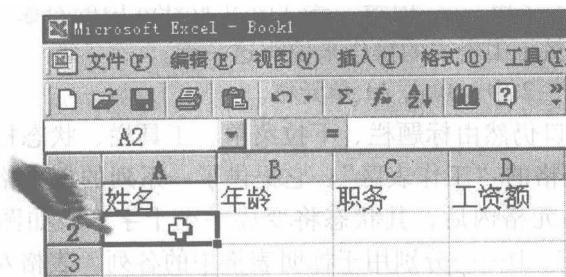


图 1-1-5 单击 A2 单元格

学习情境二 创建计算公式

下面要为某公司的经营情况创建一张电子报表，并使用计算公式作一些统计，请先按下列步骤进行操作。

步骤一 单击屏幕左下角处的 Sheet 3 标签，然后在 A1 单元格中开始书写“北京分公司本月收支一览表”字样，并设置好字体与字号（即字的大小尺寸），如图 1-1-6 所示。

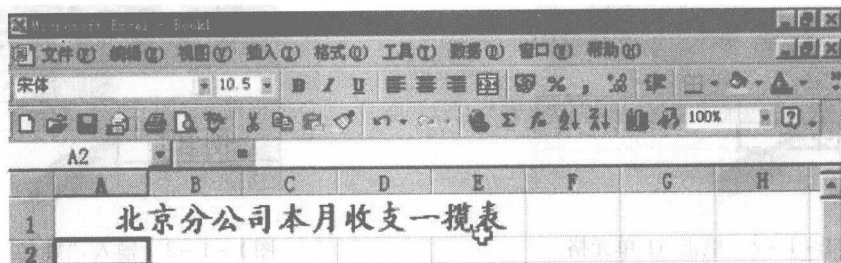


图 1-1-6 输入新的报表标题

步骤二 在 B2、C2、D2、E2 单元格中分别输入“收入/月”、“支出/天”、“员工工资”、“盈利”栏目名称，如图 1-1-7 所示。接着分别在 A3、A4、A5、A6 单元格中输入“第一营业部”、“第二营业部”、“第三营业部”、“总结余”项目名。

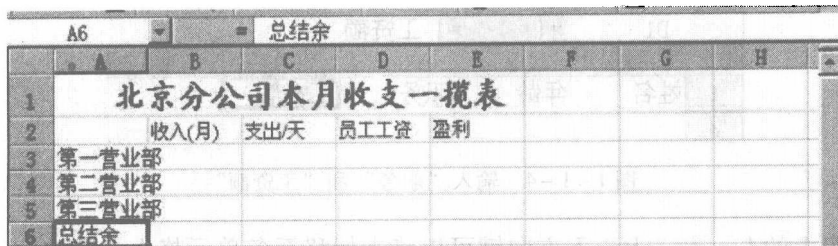


图 1-1-7 输入纵、横栏目与标题名

注意：若输入的文字不能被当前单元格完全容纳时，Excel 2003 会自动占用邻近的单元格。书写完毕后，通过设置较小一点字号的方法，或者扩大单元格，就可以在单元格中完整

地显示它们。

步骤三 选定 A 列与 B 列中的所有栏，并设置较小一点的字号，以便在单元格中完整地显示它们，如图 1-1-8 所示。上面建立好了该分公司本月的报表，所要填入的数据资料见表 1-1-1。

	A	B	C	D	E
1	北京分公司本月收支一揽表				
2		收入(月)	支出/天	员工工资	盈利
3	第一营业部				
4	第二营业部				
5	第三营业部				
6	总结余				
7					

图 1-1-8 适当调整一下文字字号

表 1-1-1 数据资料

部门	收入/元	每天支出费用/元·天 ⁻¹
第一营业部	8 000 000	50 000
第二营业部	7 000 000	30 000
第三营业部	0	70 000

这些数据可以按前面所述的方法直接在表中输入，如图 1-1-9 所示。

下面的操作将创建一些公式来自动生成“盈利”与“总结余”栏中的数据，此后无论什么时候，只要公式有变动，单元里的内容也会自动产生变化。

步骤四 单击 E3 单元格，选定它后单击编辑框，输入：=B3 - C3 * 30。

注意：公式应以等号开头，公式内容紧接在后面。如果输入了一个错误的公式，按下键盘上的 Enter 键后，屏幕上将显示一条出错信息，并询问处理方式，让您选择是否通过一个向导来处理问题。一旦输入正确的公式，单元格中就会显示相应的数字，如图 1-1-9 所示。

	A	B	C	D	E
1	北京分公司本月收支一揽表				
2		收入(月)	支出/天	员工工资	盈利
3	第一营业部	8000000	50000		6500000
4	第二营业部	7000000	30000		
5	第三营业部	0	70000		
6	总结余				
7					

图 1-1-9 显示第一营业部的盈利值

步骤五 计算数值。

选定 E4 单元格后在编辑栏中输入公式

$$= B4 - C4 * 30;$$

选定 E5 单元格后在编辑栏中输入公式

$$= B5 - C5 * 30;$$

选定 E6 单元格后在编辑栏中输入公式

$$= B6 - C6 * 30。$$

此后，各营业部的盈利数字就会自动计算并显示出来，如图 1-1-10 所示。

	A	B	C	D	E
1	北京分公司本月收支一览表				
2		收入(月)	支出/天	员工工资	盈利
3	第一营业部	8000000	50000		6500000
4	第二营业部	7000000	30000		6100000
5	第三营业部	0	70000		-2100000
6	总结余				
7					

图 1-1-10 自动计算并显示各营业部的盈利值

步骤六 选定 E6 单元格，并在编辑栏中输入公式

$$= E3 + E4 + E5。$$

	A	B	C	D	E	F
1	北京分公司本月收支一览表					
2		收入(月)	支出/天	员工工资	盈利	
3	第一营业部	8000000	50000		6500000	
4	第二营业部	7000000	30000		6100000	
5	第三营业部	0	70000		-2100000	
6	总结余				10500000	
7						

图 1-1-11 自动计算并显示“总结余”

上述操作完成后，一张电子报表就制作好了。此表的最大特点是可以变更收入/支出数据后，自动更新“盈利”与“总结余”单元格中的数值。

学习情境三 认识 Excel 2003 的运算符

由前一情境可见，公式用于按特定次序计算数值，通常以等号（=）开始，位于它之后的就是组成公式的各种字符。其中，紧随在等号之后的是需要进行计算的元素——操作数，各操作数之间以算术运算符来分隔的，如在上面的这个公式中就使用了加法和除法两种运算符。

运算符就是这样的一种用于指明对公式中的元素作计算类型的符号，如加法、减法或乘法运算。Excel 2003 中的运算符有四种类型：算术运算符、比较运算符、文本运算符和引用运算符，它们的功能与组成如下所述。

1. 算术运算符

用于完成基本的数学运算，如加法、减法和乘法，连接数字和产生数字结果等。各算术运算与用途见表 1-1-2。

表 1-1-2 算术运算符

算术运算符	名称	用途	示例
+	加号	加	3 + 3
-	减号	“减”以及表示负数	3 - 1
*	星号	乘	3 * 3
/	斜杠	除	3/3
%	百分号	百分比	20%
^	脱字符	乘方	3^2 (与 3 * 3 相同)

2. 比较运算符

用于比较两个值，结果将是一个逻辑值，即不是 TRUE（真）就是 FALSE（假）。与其他计算机程序语言类似，这类运算符还用于按条件作下一步运算。各算术运算符的名称与用途见表 1-1-3。

表 1-1-3 比较运算符

比较运算符	名称	用途	示例
=	等号	等于	A1 = B1
>	大于号	大于	A1 > B1
<	小于号	小于	A1 < B1
>=	大于等于号	大于等于	A1 > = B1
<=	小于等于号	小于等于	A1 < = B1
< >	不等于	不等于	A1 < > B1

3. 文本运算符

实际上是一个文字串联符“&”，用于加入或连接一个或更多字符串来产生一大段文本。如“North” & “wind”，结果是 North wind。

4. 引用运算符

引用下表 1-1-4 的运算符可以将单元格区域合并起来进行计算。

表 1-1-4 引用运算符

引用运算符	名称	用途	示例
:	冒号	区域运算符，对两个引用之间，包括两个引用在内的所有单元格进行引用	B5: B15
,	逗号	联合操作符将多个引用合并为一个引用	SUM (B5: B15, D5: D15)

如果公式中使用了多个运算符，Excel 2003 将按下表所列的顺序进行运算。如果公式中

包含了相同优先级的运算符，例如，同时包含了乘法和除法运算符，则将从左到右进行计算。如果要修改计算的顺序，可把需要首先计算的部分放在一对圆括号内。

表 1-1-5 运算的顺序

运算符	示例
: (冒号)	引用运算符
(空格)	
, (逗号)	
- (负号)	-1
%	百分比
^	乘幂
* 和 /	乘和除
+ 和 -	加和减
&	连接两串文本

实践教学情景 Excel 的基本练习

一、制作表格

制作如图 1-1-12 所示的表格。

JD 曲线号	半径 R	曲线长度 L	曲线偏角 P	计算偏角 P	内移值 P	切线增长 q	切线长 T	曲线长 L	外距 E	切曲垂 D	直量 ZH	圆曲线 HT	曲中 QZ	圆曲线 TH	量直 HZ	JD 曲线号

图 1-1-12 表格练习

二、练习如下命令在 Excel 中的应用

- (1) INT 向下取整；
- (2) ROUND 四舍五入取整；
- (3) RADIANS 角度变弧度的函数；

- (4) DEGREES 弧度变角度的函数;
- (5) SUM 求和函数的应用;
- (6) SIN、COS、TAN、SEC(用 $\frac{1}{\text{余弦}}$ 来表示)三角函数的应用;
- (7) 一般运算的练习,如加减乘除及幂函数。

任务二 平曲线计算

学习情景一 平曲线计算的专业知识

公路施工中需要进行恢复定线,而如何进行恢复定线,传统的方法是支距法和偏角法,当采用计算器进行数据的计算过程中需要的时间比较长,而且也不直观。当我们采用计算机中的 Excel 软件计算可以节省大量的时间从而计算速度。

一、曲线要素的计算

以单交点平曲线为例,如图 1-2-1 所示,只设一个 JD 点的平曲线成为单交点平曲线,主要计算要素已经给定,但是为方便进行平曲线的计算,下面先进行复习。

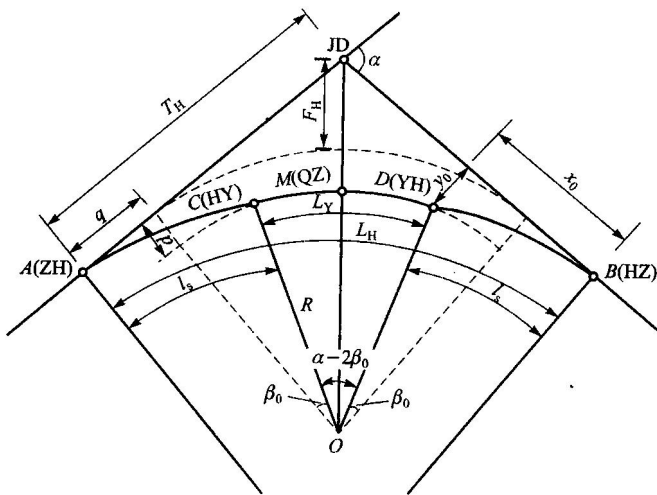


图 1-2-1 带缓和曲线的曲线要素

1. 曲线要素的计算

已知条件: JD 桩号、半径 R 、偏角 PJ 、缓和曲线 LS

求解: 切线长 T , 曲线长 L , 外距 E , 切曲差 D 、ZH、HY、QZ、YH、HZ

计算公式如下:

内移值

$$p = \frac{l_s^2}{24R}$$

切线增长值

$$q = \frac{l_s}{2} - \frac{l_s^3}{240R^2}$$

$$\text{切线长} \quad T_H = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q$$

$$\text{曲线长} \quad L_H = R(\alpha - 2\beta_0) \frac{\pi}{180^\circ} + 2l_s$$

$$\text{或者} \quad L_H = R\alpha \frac{\pi}{180^\circ} + l_s$$

$$\text{其中, 圆曲线长} \quad L_Y = R(\alpha - 2\beta_0) \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$\text{外距} \quad E_H = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R$$

$$\text{切曲差} \quad D_H = 2T_H - L_H$$

2. 曲线主点里程计算

根据交点的里程和曲线测要素, 计算主点里程, 公式如下:

$$\text{直缓点} \quad ZH = JD - T_H$$

$$\text{缓圆点} \quad HY = ZH + l_s$$

$$\text{曲中点} \quad QZ = HZ - \frac{L_H}{2}$$

$$\text{圆缓点} \quad YH = HY + L_Y$$

$$\text{缓直点} \quad HZ = YH + l_s$$

$$\text{交点} \quad JD = QZ + \frac{D_H}{2} \quad (\text{校核})$$

二、圆曲线带有缓和曲线的测设方法

1. 偏角法

缓和曲线上各点可将经纬仪置于 ZH 或 HZ 点进行测设。如图 1-2-2 所示, 设缓和曲线上任意一点 p 的偏角为 δ , 至 ZH 或 HZ 点的曲线长为 l , 其弦近似与曲线长相等, 亦为 l 。由直角三角形可得

$$\sin \delta = \frac{y}{l}$$

δ 很小, 则 $\sin \delta$ 。顾及 $y = \frac{l^3}{6Rl_s}$, 则有

$$\delta = \frac{l^2}{6Rl_s}$$

HY 或 YH 点的偏角为和曲线的总偏角。将 $l = l_s$ 代入式 $\delta = \frac{l^2}{6Rl_s}$ 得

$$\delta_0 = \frac{l_s}{6R}$$

因 $\beta_0 = \frac{l_s}{2R}$, 则有

$$\delta_0 = \frac{1}{3}\beta_0$$

将式 $\delta = \frac{l^2}{6Rl_s}$ 与式 $\delta_0 = \frac{1}{3}\beta_0$ 相比, 得偏角法计算公式为

$$\delta = \left(\frac{l}{l_s}\right)^2 \times \delta_0 = \left(\frac{l}{l_s}\right)^2 \times \frac{1}{3} \times \beta_0$$

由上式可知,缓和曲线上任一点的偏角,与该点至缓和曲线起点的曲线长的平方成正比。

圆曲线上各点的测设需将仪器迁至 HY (或 YH) 点上进行。这时只要定出 HY 或 YH 点的切线方向 (与前面所讲的无缓和曲线的圆曲线的测设方法一样), 这里需计算出 b_0 。如图 1-2-2 所示, 显然

$$b_0 = \beta_0 - \delta_0 = 3\delta_0 - \delta_0 = 2\delta_0 = \frac{2}{3} \times \beta_0$$

测设时, 将仪器置于 HY 点上, 瞄准 ZH 点, 水平度盘配置在 b_0 (当曲线右转时, 配置在 $360^\circ - b_0$ 处), 旋转照准部使水平度盘读数为 $0^\circ 00' 00''$ 并倒镜, 此时视线方向即为 HY 点的切线方向。

圆曲线偏角的计算公式为

$$\delta = 28.6479 \times \frac{l}{R} = \frac{180}{\pi} \times \frac{l}{2R}$$

其中, l ——为待测点至 HY 或 YH 点的距离;

R ——为圆曲线的半径。

2. 切线支距法

切线支距法是以直缓点 ZH 或缓直点 HZ 为坐标原点, 以切线为 x 轴, 过原点的半径为 y 轴, 利用缓和曲线和圆曲线上各点的 x 和 y 坐标测设曲线。

如图 1-2-3 所示, 曲线上各点的坐标用下列公式计算。

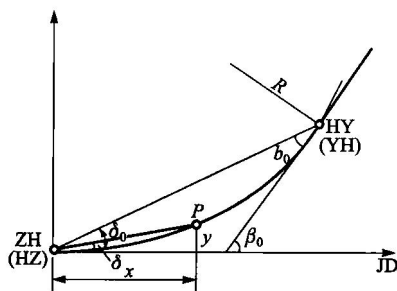


图 1-2-2 偏角法测设曲线

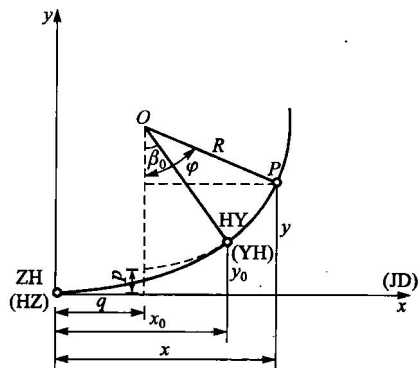


图 1-2-3 切线支距法

(1) 缓和曲线范围内

$$x = l - \frac{l^5}{40R^2l_s^2}$$

$$y = \frac{l^3}{6Rl_s} - \frac{l^7}{336R^3l_s^3}$$

(2) 圆曲线范围内

$$x = R \sin \varphi + q$$

$$y = R(1 - \cos \varphi) + p$$