

中俄合作编著

微机在勘查与基础工程中的应用

鄢 泰 宁 蒋国盛 编著
科兹洛夫 龚元明



中国地质大学出版社



责任编辑: 吴巧生
封面设计: 田剑云

ISBN 7-5625-1473-9



9 787562 514732 >

定价: 28.50元

中俄合作编著

微机在勘察与基础工程中的应用

(第二版)

鄢泰宁 蒋国盛 科兹洛夫(А. В. Козлов) 龚元明 编著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

随着社会进步和经济的繁荣,人类与赖以生存的地球资源、环境及以岩土地质体为基础的各类建筑物的关系越来越密切。近年来大量勘探队伍不仅服务于矿产资源勘查、开发和地下深部的科学探测等传统领域,而且以市场为导向转向城镇建设、交通、能源、水利等基础工程的设计与施工,并在这些新领域发挥着越来越重要的作用。本书正是为适应这一需求,在其前身《微型计算机在勘探技术中的应用》基础上由中俄两国作者重编的。

全书共分11章。其中,第一章给出了7个用于钻孔弯曲数据处理与定向孔设计的应用软件;第二章是俄罗斯圣彼得堡矿业学院作者A.B.科兹洛夫教授开发的5个钻进过程设计计算应用软件;第三至六章是在工程技术问题中通用的寻找主要因素、建立经验方程、优化试验设计及快速寻优的应用软件,它既可用于勘查钻进,又可用于分析基础工程施工过程;第七至十章是用于地基(梁、桩)与基础处理的数值分析软件和设计计算软件;第十一章则介绍了在该领域应用的微机监测(控制)系统。应该说,上述几个方面基本上囊括了目前国内外勘查与基础工程界微机应用的内容。书中给出的38个程序全部用当前普遍推广的C语言写成,读者如需要可与作者联系。为了方便读者(尤其是对微机和算法比较陌生的初学者),本书每个章节在给出程序清单的同时,还在“问题的提出”、“算法及使用说明”和“应用举例”几个二级标题下,详细地阐述了应用微机解决实际问题的思路、算法及其实例。所以说它既是一本程序集,又是一本教科书。如果读者能一边学习本书,一边上机操作,通过消化掌握书中程序的用法及其计算结果的解释方法,提高举一反三的能力,将是大有裨益的。

本书可作为勘查技术与工程、勘查与基础工程、岩土工程、钻井工程及相近专业本科生(研究生)和在职培训人员的教材,也可作为从事相关工作技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微机在勘查与基础工程中的应用/鄢泰宁,蒋国盛,科兹洛夫(A. B. Козлов),龚元明编著. —武汉:中国地质大学出版社,2002.9

ISBN 7-5625-1473-9

I. 微…

II. ①鄢…②蒋…③科…④龚…

III. 基础工程-勘查工程-计算机应用

IV. P634

微机在勘查与基础工程中的应用(第二版)

鄢泰宁 蒋国盛

科兹洛夫(A. B. Козлов) 编著

龚元明

责任编辑:吴巧生

责任校对:杨霖

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537 E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:380千字 印张:14.875

版次:2002年9月第2版

印次:2002年9月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—1 000册

ISBN 7-5625-1473-9/TP·26

定价:28.50元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

随着社会进步和经济的繁荣,人类与赖以生存的地球资源、环境及以岩土地质体为基础的各类建筑物的关系越来越密切。“勘查工程”正是适应这一需求,以原国家级重点学科“探矿工程”的全部和“工程地质、水文地质”的一部分为依托,相互交叉渗透发展起来的。它以现代钻掘技术为手段,以岩、土体为工作对象,服务于矿产资源的勘查、开发与技术管理,基础工程的勘查、设计、施工和地下深部的科学探测等领域。由于构成地壳之岩土自身的复杂性和岩土钻掘工艺的多样性,故该领域目前还处于逐渐走向成熟的阶段,还有许多技术手段有待深化与更新。而计算机的应用正是其关键环节之一,它将帮助我们逐步摆脱凭经验打钻、凭经验施工的现状,由过去解决专业问题时以定性分析为主逐渐走向以定量分析为主。

本书的前身《微型计算机在勘探技术中的应用》于1985年在湖北科学技术出版社出版,曾作为4届原地质矿产部工程师培训班和12届本科生(部分研究生)的教材,并被一些生产单位工程技术人员作为参考书,获得了读者的好评。当年此书正式出版时,原地矿部探矿工程总工程师、中国地质学会探矿工程专业委员会主任委员、现中国工程院院士刘广志曾专门为该书写序。他在序中写道:“……道路是人们走出来的,事业要有开拓者创业。郝泰宁、顾家林两位中年同志,在李世忠、屠厚泽教授的指导下,编著了《微型计算机在勘探技术中的应用》一书。无疑这是在勘探技术领域一项带开拓性的工作。……深切地期望郝、顾二同志会同全国探矿工作者,继续努力,不断提高,开拓探矿工程的新路,为繁荣我国探矿工程事业,为社会主义四化建设作出更大贡献。”字里行间渗透着老前辈对我们前期工作的热情鼓励,对深化微机在本专业的应用研究寄予的殷切期望。自80年代中期以来,中国地质学会探矿工程专业委员会曾两度召开“微机在探矿工程中的应用专题研讨会”,并在《探矿工程》等期刊上发表过一系列较有影响的微机应用方面的论文,其中较多论文都曾引用过该书思路、算法或程序。但是,毕竟该书出版已有16年之久。时代在前进,技术在进步,专业的服务领域在不断地拓宽。以现在的眼光看来,原书中有些东西已经陈旧,有些内容急待更新与补充。主要表现在:

1. 随着计算机档次的不断提高和普及,原书中使用的BASIC语言已基本淘汰,取而代之的是近年来在国内外得到迅速推广使用的一种现代语言——C语言。

2. 近年来大量勘探队伍从以市场为导向,转向城镇建设、交通、能源、水利等基础工程的设计与施工,并在这些为国民经济支柱产业服务的新领域内发挥着越来越重要的作用。而原书中基本未包含这方面的内容,许多学生和读者都希望掌握在基础工程设计与施工中应用微机的技能,所以必须对原书加以补充。

3. 如果说最初计算机应用仅限于开发应用软件,那么近年来为了促进最优化钻进和生产过程机械化、自动化,国内外勘查与基础工程界已十分重视微机监测系统的研制与开发。这也是本书重编时必须补充的内容之一。

4. 1985年原书出版时,计算机还远没有普及,所以当时写书的出发点是强调深入浅出,通俗易懂,从而篇幅较长。而现在一方面计算机知识已逐渐普及,另一方面目前的本科教育强调加宽基础,压缩专业课学时,因此必须对原教材内容进行精选,删繁就简。

根据中国地质大学与俄罗斯圣彼得堡矿业学院签订的合作协议,这次重编的教材定名为《微机在勘查与基础工程中的应用》,共分11章(还有附录与附表),同时用中俄两种文字分别在中国地质大学和俄罗斯圣彼得堡矿业学院出版。中文版由鄢泰宁教授主编,蒋国盛教授、A. B. КОЗЛОВ(科兹洛夫)教授和龚元明副教授参编。其中:前言、第一、三、四、五、六章、第十一章的第一节和附录由鄢泰宁编写;第七、八、九、十章由蒋国盛编写;第二章由A. B. КОЗЛОВ(科兹洛夫)写出俄文稿,由鄢泰宁翻译并把原稿中的BASIC程序改写成C语言;第十一章的第二、三、四节由龚元明编写。俄文版书名是《Проектирование процессов бурения скважин с применением ЭВМ》,将由汤凤林(俄罗斯自然科学院和工程院外籍院士)、鄢泰宁教授把中文版翻译成俄文,再由A. B. КОЗЛОВ(科兹洛夫)教授添加俄罗斯学者在该领域的成果内容并完成统稿付印。

目前呈现在读者面前的新书,基本上是每章一个专题,每节一个应用程序及其工程实例。并把每节的结构统一为“功能”、“问题的提出”、“输入输出符号说明”、“算法及使用说明”、“程序清单”、“应用举例”6个二级标题,每章之后附有习题,可供读者上机练习,以巩固所学知识和提高应用微机解决实际问题的能力。全书共38个应用程序(或子函数)均是作者用C语言自己开发完成的,并都在PC机上调试通过了。为了方便读者(尤其是初学者),除了在“使用说明”中讲解用法外,还在许多程序(或子函数)中都加入了中文注释,以便读者容易看懂程序的结构与算法思路。因此,请读者在使用书中程序之前应先进入UCDOS平台,再进入C语言系统(否则无法辨认程序中的中文注释)。另外,书后附录补充了关于使用Turbo C上机指导的内容,对C语言不太熟悉的读者可边上机实践,边对照阅读,可能会获得事半功倍的效果。

本书既可作为勘查与基础工程、钻井工程、岩土工程及其相近专业的本科生(硕士研究生)、在职培训人员的教材,也可作为相关专业技术人员应用微机解决工程实际问题时的一本程序集使用。

为了方便读者,需要软盘的读者可与我们联系。凡是开发过软件的同行都知道,一个程序不经过千锤百炼是很难达到最优的。本书的软件也不例外,我们编写的软件只是想满足读者的需要而抛砖引玉,我们只能保证软件可用,但绝非最优。希望读者在使用中不断修改优化它,并把您使用修改程序过程中的经验和体会告诉我们,以便共同提高。同时,由于作者水平有限,书中肯定还有不少缺点错误,祈请专家和广大读者批评指正。

本书的重编与出版得到了中国地质大学教务处与中国地质大学出版社的大力支持与帮助,特此致谢。

作者

2001年8月于武汉

目 录

第一章 钻孔弯曲与定向孔设计的应用软件	(1)
§ 1.1 计算钻孔轨迹的空间坐标 (程序名: KC1_1)	(1)
§ 1.2 判断钻孔的弯曲类型 (程序名: KC1_2)	(4)
§ 1.3 初级定向孔的设计 (程序名: KC1_3)	(9)
§ 1.4 垂直平面内受控定向孔的设计 (程序名: KC1_4)	(11)
§ 1.5 钻孔轨迹跟踪 (程序名: KC1_5)	(14)
§ 1.6 预测定向钻孔的中靶可能性 (程序名: KC1_6)	(20)
§ 1.7 计算满眼钻具扶正器的安装位置 (程序名: KC1_7)	(24)
第一章 习 题	(28)
第二章 钻进规程参数设计计算应用软件	(29)
§ 2.1 按最小功耗准则选择钻杆柱 (程序名: KC2_1)	(29)
§ 2.2 根据钻机动力机的功率确定最大钻探深度 (程序名: KC2_2)	(31)
§ 2.3 用钻井液作为钻孔循环介质时的水力参数计算 (程序名: KC2_3)	(35)
§ 2.4 空气钻进时的空气动力学参数计算 (程序名: KC2_4)	(42)
§ 2.5 钻进过程中温度规程的计算 (程序名: KC2_5)	(48)
第二章 习 题	(54)
第三章 用方差分析法寻找主要因素的应用软件	(56)
§ 3.1 用于单因素试验的方差分析 (程序名: KC3_1)	(56)
§ 3.2 用于无交互作用的双因素试验的方差分析 (程序名: KC3_2)	(59)
§ 3.3 用于有交互作用的双因素试验的方差分析 (程序名: KC3_3)	(65)
§ 3.4 用于多因素试验的方差分析 (程序名: KC3_4)	(70)
第三章 习 题	(75)
第四章 回归分析的应用软件	(77)
§ 4.1 一元线性回归方程的建立 (程序名: KC4_1)	(77)
§ 4.2 利用一元回归方程进行预报和控制 (程序名: KC4_2)	(80)
§ 4.3 一元非线性回归方程的建立及其应用举例 (程序名: KC4_3)	(83)
§ 4.4 多元线性回归方程的建立 (程序名: KC4_4)	(89)
§ 4.5 多元非线性回归方程的建立及其自变量的显著性检验 (程序名: KC4_5)	(96)
§ 4.6 用逐步回归分析方法建立多元回归方程 (程序名: KC4_6)	(101)
第四章 习 题	(110)
第五章 优化试验设计的应用软件	(114)
§ 5.1 用于一次回归正交设计的程序 (程序名: KC5_1)	(114)
§ 5.2 用于二次回归正交设计的程序 (程序名: KC5_2)	(120)
§ 5.3 用于二次回归旋转设计的程序 (程序名: KC5_3)	(127)

第五章 习 题	(134)
第六章 对已知(经验)方程快速寻优的应用软件	(135)
§ 6.1 用于一维问题求极值的程序(程序名: KC6_1)	(135)
§ 6.2 用于多维问题求极值的程序(程序名: KC6_2)	(139)
§ 6.3 用于有约束条件求极值的程序(程序名: KC6_3)	(143)
§ 6.4 用于解联立不等式约束条件确定合理参数的程序(程序名: KC6_4)	(150)
第六章 习 题	(153)
第七章 地基上梁的有限元法数值分析软件(程序名: KC7_1)	(155)
第七章 习 题	(162)
第八章 灌注桩桩基设计计算应用软件	(163)
§ 8.1 灌注桩桩基设计计算应用软件的主函数(程序名: KC8_1)	(163)
§ 8.2 桩基竖向承载力的设计计算及其子函数(ddzcz)	(166)
§ 8.3 桩基沉降量计算及其子函数(cjjs)	(170)
第八章 习 题	(172)
第九章 深层搅拌法地基处理设计计算应用软件(程序名: KC9_1)	(173)
第十章 基坑开挖和支护工程设计计算应用软件	(180)
§ 10.1 土压力和水压力计算及其子函数(tlxx、tlxx1)	(180)
§ 10.2 悬臂式支护结构设计计算应用软件(程序名: KC10_1)	(184)
§ 10.3 重力式挡土墙支护结构设计计算及其程序(程序名: KC10_2)	(188)
§ 10.4 锚固支护结构设计及其程序(程序名: KC10_3)	(193)
第十章 习 题	(203)
第十一章 微机监测(控制)系统	(205)
§ 11.1 微机监测(控制)系统概述	(205)
§ 11.2 微机监测系统的前向通道配置	(207)
§ 11.3 前向通道中的 A/D 转换与接口技术	(210)
§ 11.4 微机监测(控制)系统的后向通道配置及接口技术	(214)
附录 用 Turbo C 的上机指导	(219)
附表	(226)
参考文献	(231)

第一章 钻孔弯曲与定向孔设计的应用软件

§ 1.1 计算钻孔轨迹的空间坐标(程序名:KC1_1)

1. 功能

本程序可根据测斜资料的孔斜三要素(测点深度、顶角、方位角)计算钻孔轨迹的空间坐标。

2. 问题的提出

钻探质量指标对钻孔的弯曲程度有严格限制,但在生产实践中要想完全打成笔直的钻孔几乎是不可能的。实际的钻孔轨迹往往是一条空间曲线,我们只能用一条经过各个测斜点的折线来近似表示它。由于计算钻孔空间坐标的公式比较繁琐,因此必须用微机快速而准确地算出钻孔各测斜点的空间坐标,以便更准确、直观地掌握钻孔的弯曲程度,为提高钻探质量和定向钻进的设计与施工服务。

3. 输入输出参数的符号说明

已知参数和计算结果的符号见表 1-1。

表 1-1

参 数	符 号		单 位
	在算法中	在程序中	
孔号		zk	
勘探线方位角	α_A	a	度
设计孔深		b	m
含开孔点在内的测斜点数	N	N	
各测点的孔深	L_i	l[N]	m
各测点的顶角	θ_i	q[N]	度
各测点的方位角	α_i	f[N]	度
各测点的 X 坐标	X_i	x[N]	m
各测点的 Y 坐标	Y_i	y[N]	m
各测点的 Z 坐标	Z_i	z[N]	m

4. 算法及使用说明

4.1 建立空间坐标系

X 轴取勘探线方向,即 α_A 方向,Y 轴取 $(\alpha_A + 90^\circ)$ 方向,Z 轴取垂直向下。

4.2 计算各测斜点空间坐标值的公式

本程序采用国内外钻探界在处理测斜数据时通常采用的均角全距法来计算钻孔的空间轨

迹。其循环算法如下

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \Delta L_i \cdot \sin\left(\frac{\theta_i + \theta_{i-1}}{2}\right) \cdot \cos\left[\left(\frac{\alpha_i + \alpha_{i-1}}{2}\right) - \alpha_A\right] \\ Y_i &= Y_{i-1} + \Delta L_i \cdot \sin\left(\frac{\theta_i + \theta_{i-1}}{2}\right) \cdot \sin\left[\left(\frac{\alpha_i + \alpha_{i-1}}{2}\right) - \alpha_A\right] \\ Z_i &= Z_{i-1} + \Delta L_i \cdot \cos\left(\frac{\theta_i + \theta_{i-1}}{2}\right) \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, N$; X_i, Y_i, Z_i ——第 i 个测点的坐标, m; $\Delta L_i = L_i - L_{i-1}$ ——第 i 个测点与第 $i-1$ 个测点之间的孔段长度, m; θ_i, θ_{i-1} 和 α_i, α_{i-1} ——第 i 个测点和第 $i-1$ 个测点的顶角和方位角, 度; α_A ——勘探线方位角, 度。

4.3 使用说明

4.3.1 由于程序的输入、输出及注释语句中写进了一些中文提示, 为了方便读者, 请在 UC DOS 平台下使用本书的程序(下同)。

4.3.2 请在使用该程序前根据测斜点(包括孔口)的个数修改程序宏定义中 N 的值。

4.3.3 根据屏幕提示, 依次输入孔号、勘探线方位角、孔深和开孔顶角与方位角。如果是垂直开孔, 则取能测出的第一个方位角作为开孔方位角。

4.3.4 根据屏幕提示, 按孔深、顶角、方位角的顺序一组一组地输入除孔口外的全孔测斜数据, 组内数据之间用逗号隔开, 每输完一组按一次回车键(下同)。

5. 程序清单

```
/* 程序 KC1_1 */
#include "math.h"
#define N 13 /* 使用程序前请按照实际测斜点个数(含孔口)修改 N 值 */
#define PR printf
#define PI (3.141593/180)
main()
{
    int zk, l[N], i; float a, b, q[N], f[N], x[N], y[N], z[N], qq, ff, aa;
    PR("输入钻孔号, 勘探线方位角, 设计孔深: \n"); scanf("%d, %f, %f", &zk, &a, &b);
    PR("输入开孔顶角, 开孔方位角: \n"); scanf("%f, %f", &q[0], &f[0]);
    l[0] = x[0] = y[0] = z[0] = 0; aa = a * PI; /* 把度变换为弧度 */
    PR("输入各测斜点的孔深, 顶角, 方位角: \n");
    for(i = 1; i < N; i++)
    {
        scanf("%d, %f, %f", &l[i], &q[i], &f[i]);
        qq = (q[i] + q[i-1]) / 2;
        if((f[i] > 270 && f[i-1] < 90) || (f[i] < 90 && f[i-1] > 270)) ff = (f[i] + f[i-1]) / 2 + 180;
        else ff = (f[i] + f[i-1]) / 2;
        if(ff > 360) ff = ff - 360;
        qq = qq * PI; ff = ff * PI;
        x[i] = x[i-1] + (l[i] - l[i-1]) * sin(qq) * cos(ff - aa);
        y[i] = y[i-1] + (l[i] - l[i-1]) * sin(qq) * sin(ff - aa);
    }
}
```

```

z[i]=z[i-1]+(l[i]-l[i-1])*cos(qq);
}
PR("\n 钻孔号:ZK%d  勘探线方位角:%.1f(度)  设计孔深:%.2f(m)\n",zk,a,b);
PR(" 开孔顶角:%.1f(度)          开孔方位角:%.1f(度)\n",q[0],f[0]);
PR("_____ \n");
PR("No. 孔深(m) 顶角(度) 方位角(度) X 坐标(m) Y 坐标(m) Z 坐标(m)\n");
PR("_____ \n");
for(i=1;i<N;i++)
PR("%3d%5d%8.1f%9.1f%10.2f%10.2f\n",i,l[i],q[i],f[i],x[i],y[i],z[i]);
PR("_____ \n");
}

```

6. 应用举例

某矿区 ZK301 孔的各测斜点数据列于表 1-2。其勘探线方位角为 294° ，设计孔深 300m，开孔顶角 4° ，开孔方位角 345° 。

表 1-2

测点数 N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测深 $L(m)$	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
顶角 $\theta(^{\circ})$	7	11	12	17	20	24.8	28	29.8	31.2	33	34.2	35.8
方位角 $\alpha(^{\circ})$	323	314	305	294	300	290	297	294	295	294	292	290

在该问题中 $N=13$ 。运行程序后，按屏幕提示输入原始数据。注意程序中要求角度值的量纲为度，如果原始数据为度、分制，例如 $\theta=5^\circ08'$ ，则应先换算成 5.13° 后输入或在程序的输入语句后增加相应的变换语句，在参加运算之前自动变成 $\theta=5.13^\circ$ 。

程序运算结果如下：

输入钻孔号，勘探线方位角，设计孔深：

301,294,300,✓

输入开孔顶角，开孔方位角：

4,345,✓

输入各测斜点的孔深，顶角，方位角：

25,7,323,✓

50,11,314,✓

.....

300,35.8,290,✓

孔号:ZK301 勘探线方位角:294.0(度) 设计孔深:300.00(m)

开孔顶角:4.0(度)

开孔方位角:345.0(度)

No.	孔深(m)	顶角(度)	方位角(度)	X 坐标(m)	Y 坐标(m)	Z 坐标(m)
1	25	7.0	323.0	1.84	1.54	24.88
2	50	11.0	314.0	5.39	3.16	49.58
3	75	12.0	305.0	10.20	4.49	74.08
4	100	17.0	294.0	16.43	5.09	98.28
5	125	20.0	300.0	24.35	5.51	121.99
6	150	24.2	290.0	33.87	5.68	145.10
7	175	28.0	297.0	44.99	5.58	167.49
8	200	29.8	294.0	57.07	5.89	189.38
9	225	31.2	295.0	69.76	6.01	210.92
10	250	33.0	294.0	83.04	6.12	232.10
11	275	34.2	292.0	96.87	5.88	252.92
12	300	35.8	290.0	111.19	5.13	273.40

§ 1.2 判断钻孔的弯曲类型(程序名:KC1_2)

1. 功能

本程序可根据由程序“KC1_1”得出的钻孔轨迹空间坐标,用最小二乘法建立一个拟合平面,并算出各测斜点至拟合平面的垂直距离。按照平面拟合的显著性检验和各测斜点至平面的垂直距离,来判断该钻孔轨迹的弯曲类型——平面弯曲或空间弯曲。

2. 问题的提出

在大多数情况下,随着孔深增加,钻孔的顶角和方位角往往均发生变化,它既可能属于空间弯曲,也可能属于位于某个倾斜平面上的平面弯曲。用微机快速确定钻孔究竟属于平面弯曲还是空间弯曲,对于掌握矿区的钻孔弯曲类型及其自然弯曲规律,对于定向孔和多分支钻孔的设计都具有重要的意义。

3. 输入输出参数的符号说明

已知参数和计算结果的符号见表 1-3。

表 1-3

参 数	符 号		单 位
	在算法中	在程序中	
测斜点数(包括开孔点)	N	n	
自变量和因变量	X, Z 和 Y	$xyz[3][n]$	
拟合平面方程 $Y=AX+CZ+D$ 的系数	A, C, D	$x[1], x[2], x[0]$	
显著性检验值	F	F	
复相关系数	R	R	
各测斜点至拟合平面的垂直距离	D	b	m
各垂直距离的算术平均值	CP	s/n	m

4. 算法及使用说明

4.1 用最小二乘法建立拟合平面的回归方程

把由程序 KC1_1 算得的 N 组钻孔轨迹坐标值 (X_i, Y_i, Z_i) 作为样本, 其中把 y_i 看作因变量, x_i, z_i 看作自变量。用最小二乘法建立拟合平面的回归方程—— $Y=AX+CZ+D$, 同时算出复相关系数 R 和平面拟合的显著性检验值 F 。

4.2 形象地了解钻孔弯曲的形态

根据钻孔轨迹各坐标值及本程序建立的平面方程, 循环地按 (1-2) 式计算孔身各点至该拟合平面的垂直距离, 由此可形象地了解钻孔弯曲的空间形态。

$$d_i = \frac{|AX_i + BY_i + CZ_i + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (1-2)$$

4.3 使用说明

4.3.1 请在使用程序前根据钻孔坐标点(包括孔口)的组数修改主程序第一、三语句中的 n 值。

4.3.2 根据屏幕提示, 按 X_i, Z_i, Y_i 的顺序, 一组组输入含孔口在内的全孔坐标值数据, 组内数据之间用逗号隔开, 每输完一组按一次回车键。

4.3.3 进行显著性检验时, 须由本书附录 1 查出临界值 $F_\alpha(f_1, f_2)$, 其中: α ——显著性水平, 当 $\alpha=0.05$ 和 0.01 时分别对应的可信度概率为 95% 和 99% ; f_1 ——第一自由度, $f_1=2$; f_2 ——第二自由度, $f_2=N-3$ 。如果算得的 F 值大于临界值 $F_\alpha(f_1, f_2)$, 或者复相关系数 R 非常接近于 1, 则认为该钻孔为平面弯曲, 否则为空间弯曲。

4.3.4 若程序运行过程中打印出“无唯一解!”, 则说明在求解拟合平面时其正规方程组的系数矩阵为奇异阵, 须检查是否原始数据的输入出错。

5. 程序清单

```
/* 程序 KC1_2 */
#include "math.h"
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#define PR printf
main()
{
    int i, j, k, n=10; /* 请根据实际问题修改 n 值后, 再运行程序 */
    float x[3], d[4], a[3][3], *p, b, s, t;
    float xyz[3][10]; /* 若 n 值已修改, 则 xyz[3][10] 中的第二个数也须修改 */
    p = &a[0][0];
    for(i=0; i<4; i++) d[i]=0;
    for(i=0; i<3; i++)
    for(j=0; j<3; j++) a[j][i]=0;
    for(k=0; k<n; k++)
    {
        PR("输入第 %3d 组原始数据 X,Z,Y:", k+1);
        for(i=0; i<2; i++) scanf("%f", &x[i]);
        scanf("%f", &x[2]);
    }
}
```

```

xyz[0][k]=x[0];xyz[1][k]=x[2];xyz[2][k]=x[1];
d[3]=d[3]+x[2]*x[2];
d[0]=d[0]+x[2];
for(i=0;i<2;i++)
{*(p+(i+1)*3)=*(p+(i+1))+*(p+(i+1))+x[i];
d[i+1]=d[i+1]+x[i]*x[2];
for(j=i;j<2;j++)
{*(p+(i+1)*3+(j+1))=*(p+(i+1)*3+(j+1))+x[i]*x[j];
*(p+(j+1)*3+(i+1))=*(p+(i+1)*3+(j+1));
}
}
*(p+0)=n;
i=brinv(a,3);
if(i!=0)
{for(i=0;i<3;i++)
{x[i]=0;
for(j=0;j<3;j++)
x[i]=x[i]+(*(p+i*3+j))*d[j];
PR("\n");PR("拟合平面的方程为:\n");
PR("Y=(%.4f)X+(%.4f)Z+(%.4f)\n",x[1],x[2],x[0]);
s=0;
for(i=0;i<3;i++)s=s+x[i]*d[i];
s=d[3]-s;t=d[3]-d[0]*d[0]/n;
b=t-s;i=n-2-1;
PR("显著性检验 F=%.4f, 复相关系数 R=%.4f.\n\n",b*i/(2*s),sqrt(b/t));
t=sqrt(x[1]*x[1]+1+x[2]*x[2]);
s=0;PR("
PR("测点序号    测点至拟合平面垂直距离(m)\n");
for(i=0;i<n;i++)
{b=fabs(x[1]*xyz[0][i]-xyz[1][i]+x[2]*xyz[2][i]+x[0])/t;
PR("    %2d        %.3f\n",i+1,b);
s=s+b;
}
PR("钻孔各测点至拟合平面的平均距离==%.3f(m)\n",s/n);
PR("
}
}
int brinv(a,n) /* 求逆矩阵的子程序 */

```

```

int n;
float a[];
{int *is, *js, i, j, k, l, u, v;
float d, p;
is = malloc(n * sizeof(int));
js = malloc(n * sizeof(int));
for(k=0; k<n; k++)
{d=0.0;
for(i=k; i<n; i++)
for(j=k; j<n; j++)
{l=i * n + j; p=fabs(a[l]);
if(p>d) { d=p; is[k]=i; js[k]=j; }
}
if(d+1.0==1.0)
{free(is); free(js); PR("无唯一解! \n");
return(0);
}
if(is[k]!=k)
for(j=0; j<n; j++)
{u=k * n + j; v=is[k] * n + j; p=a[u]; a[u]=a[v]; a[v]=p; }
if(js[k]!=k)
for(i=0; i<n; i++)
{u=i * n + k; v=i * n + js[k]; p=a[u]; a[u]=a[v]; a[v]=p; }
l=k * n + k; a[l]=1.0/a[l];
for(j=0; j<n; j++)
if(j!=k) {u=k * n + j; a[u]=a[u] * a[l]; }
for(i=0; i<n; i++)
if(i!=k)
for(j=0; j<n; j++)
if(j!=k) {u=i * n + j; a[u]=a[u] - a[i * n + k] * a[k * n + j]; }
for(i=0; i<n; i++)
if(i!=k) {u=i * n + k; a[u]=-a[u] * a[l]; }
}
for(k=n-1; k>=0; k--)
{if(js[k]!=k)
for(j=0; j<n; j++)
{u=k * n + j; v=js[k] * n + j;
p=a[u]; a[u]=a[v]; a[v]=p;
}
if(is[k]!=k)

```

```

for(i=0;i<n;i++)
{u=i*n+k;v=i*n+is[k];
p=a[u];a[u]=a[v];a[v]=p;
}
}
free(is);free(js);
return(1);
}

```

6. 应用举例

某矿区已完工十几个钻孔,为了后续设计和施工定向孔,必须首先了解该矿区的钻孔弯曲规律,即已完工的钻孔属于平面弯曲还是属于空间弯曲。以 ZK801 孔为例,经程序 KC1_1 处理后钻孔轨迹数据见表 1-4。

表 1-4

孔深(m)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225
X(m)	0	2.17	6.12	11.95	19.84	29.8	45.57	54.86	69.15	84.02
Y(m)	0	1.82	3.62	5.24	5.99	6.52	6.72	6.61	6.98	7.11
Z(m)	0	24.84	49.46	73.72	97.43	120.35	142.4	163.58	184.1	204.08

程序运行结果如下:

输入第 1 组原始数据 X,Y,Z:0,0,0✓

输入第 2 组原始数据 X,Y,Z:2.17,24.84,1.82✓

输入第 3 组原始数据 X,Y,Z:6.12,49.46,3.62✓

.....

输入第 10 组原始数据 X,Y,Z:84.02,204.08,7.11✓

拟合平面的方程为:Y=(-0.1269)X+(0.0850)Z+(0.1040)

显著性检验 F=349.9369, 复相关系数 R=0.9950.

测点序号	测点至拟合平面垂直距离(m)
1	0.103
2	0.119
3	0.087
4	0.381
5	0.119
6	0.034
7	0.212
8	0.434
9	0.000
10	0.315

钻孔各测点至拟合平面的平均距离==0.180(m)

在上述结果中已写出了拟合平面的方程,其显著性检验的 F 比值为349.9369,而查 F 检验的临界值表得: $F_{0.01}(2,7)=9.55$,可见 $F \gg F_{0.01}$,加之复相关系数 R 为0.995,也很接近于1,故可以断定 ZK801号孔属于典型的平面弯曲类型。另外,程序输出的各测点至拟合平面的垂直距离都很小,平均为0.18m。离拟合平面最远的一个测斜点是孔深为175m的第8号测点,该点的距离也只有0.434m,这个距离还包括测斜仪和计算过程的误差影响,在工程中是可以接受的。至此,我们已经完成了定量地判定 ZK801孔的弯曲类型问题,它几乎是一条理想的平面曲线。从这个例子也可以看出,当钻孔的顶角和方位角同时发生变化时,其弯曲类型并不一定是空间弯曲,亦很可能属于平面弯曲,应用这个程序可得出正确的结论。

§ 1.3 初级定向孔的设计(程序名:KC1_3)

1. 功能

若某矿区已完工的钻孔基本属于平面弯曲,便可以设计初级定向孔。在设计中借助本程序可预计钻孔的弯曲形态,即预测在不同孔深处的顶角和方位角。

2. 问题的提出

在易斜矿区,如果已知钻孔弯曲类型属于平面弯曲,并已知岩层的最小阻力线方向,那么如何利用微机设计初级定向孔,预测钻孔的弯曲趋势,从而判断能否达到地质目的具有重要的实际意义。

3. 输入输出参数的符号说明

已知参数和计算结果的符号见表1-5。

表1-5

参 数	符 号		单 位
	在算法中	在程序中	
开孔顶角、方位角	θ_1, α_1	q1, r1	度
岩层最小阻力线的顶角、方位角	θ_n, α_n	qn, rn	度
钻孔弯曲强度	i	i	度/100m
设计孔深	S_n	Sn	m
预测点的孔深	S	s	m
预测点处的孔段顶角、方位角	θ, α	q, r	度

4. 算法及使用说明

4.1 求钻孔弯曲平面走向的方位角($\angle T + \alpha_n$)

$$\operatorname{tg}(\angle T) = \frac{\sin |\Delta \alpha|}{\frac{\operatorname{ctg} \theta_1}{\operatorname{ctg} \theta_n} - \cos(\Delta \alpha)} \quad (1-3)$$

式中: $\Delta \alpha = \alpha_n - \alpha_1$

4.2 求钻孔弯曲平面的倾角($\angle B$)

$$\operatorname{tg}(\angle B) = \frac{\operatorname{ctg} \theta_n}{\sin(\angle T)} \quad (1-4)$$

4.3 求开孔方向线与钻孔弯曲平面走向线之间的夹角

$$\angle O_1 = \arccos(\cos(\angle T + |\Delta \alpha|) \cos(\pi/2 - \theta_1)) \quad (1-5)$$