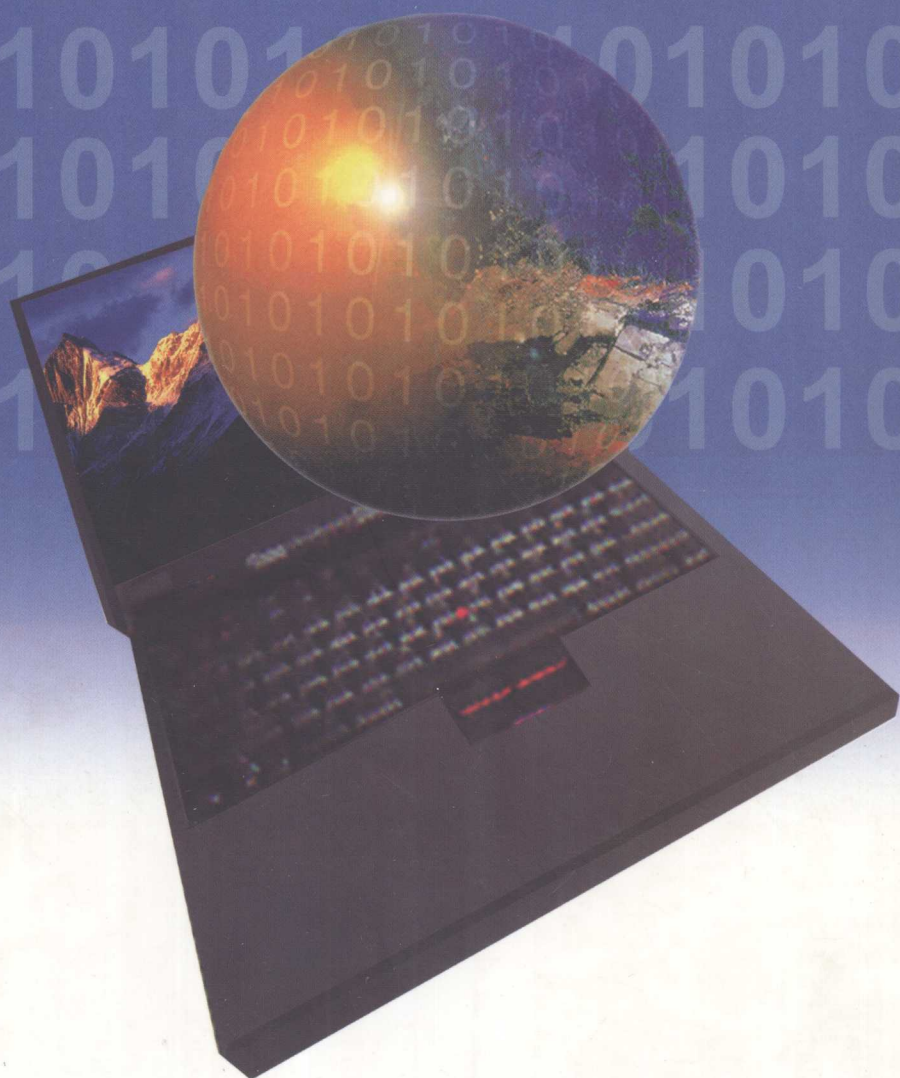


“构造地质学的理论方法与实践”丛书

# 构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发

周继彬 曾佐勋 李志勇 著



中国地质大学出版社

“构造地质学的理论方法与实践”丛书 曾佐勋 主 编 樊光明 副主编

国家理科基地创建名牌课程项目

国家自然科学基金项目(No. 49972068)

湖北省地球表层系统开放实验室基金

联合资助

华中构造力学研究中心

# 构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发

周继彬 曾佐勋 李志勇 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发/周继彬,曾佐勋,李志勇著. —武汉:中国地质大学出版社,2003. 1

ISBN 7-5625-1732-0

I. 构…  
II. ①周…②曾…③李…  
III. 软件包—StrucKit—构造地质—设计与开发  
IV. P54 TP317

构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发      周继彬   曾佐勋   李志勇 著

|                              |                 |                       |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 责任编辑:段连秀                     | 技术编辑:阮一飞        | 责任校对:张咏梅              |
| 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 |
| 开本:787 mm×1092 mm 1/16       | 字数:176千字 印张:7   |                       |
| 版次:2003年1月第1版                | 印次:2003年1月第1次印刷 |                       |
| 印刷:荆州市鸿盛印刷厂                  | 印数:1—500册       |                       |
| ISBN 7-5625-1732-0/P·592     | 定价:22.00元       |                       |

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

## 内 容 简 介

计算机软件在科研中起到越来越重要的作用,就是对“工欲善其事,必先利其器”这句话的一个最好说明。但构造地质研究中还缺少相应比较好的应用软件,作者针对这一现状一步一步开发完成了一套构造地质学软件包。本书就介绍了该构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发。

该软件包是国内第一个 Win32 的构造地质学软件。作者详细阐述了软件各功能块的原理,用 Visual Basic 6.0 开发的步骤以及软件的应用实例等。StrucKit 集成了 12 项功能。附录中增加了新编制的构造面曲率分析软件 SurCurv 和原发表的“液压模拟实验仪数据自动采集系统及其软件设计”等。

相对于国内外构造相关的软件或程序,其优点还是很明显:功能的集成、界面的图形化、结果直观、操作简便、运算精度和效率高等。StrucKit 对构造地质工作有较大的帮助,可减轻人力物力,提高工作效率;促进构造研究从定性向定量方向发展;对构造相关领域也有一定的帮助和借鉴作用。其中 SurCurv 对于裂缝油藏预测具有重要意义。

本书可供构造地质、石油地质、金属矿产地质、工程地质、计算机软件设计等专业科研和教学人员参考,也可作为构造地质学定量化教学的教材或教学参考书。

## 作者简介

周继彬,男,生于1976年,汉族,四川省广汉市人。1995年就读于中国地质大学(武汉)地球科学学院地质学专业(宝石学方向),1999年7月获地质学学士学位。同年9月免试进入中国地质大学(武汉)研究生院攻读构造地质学专业硕士学位,主攻方向为构造物理与计算机模拟。

E-mail: zhoujibin123@etang.com      zhoujibin123@163.com

曾佐勋,男,生于1954年,汉族,湖南省益阳市人。1978年原武汉地质学院地质力学专业毕业。1981年武汉地质学院北京研究生部地质力学专业毕业,获理学硕士学位。2000年中国地质大学(武汉)研究生院获构造地质学专业理学博士学位。1982年起至今,在中国地质大学(武汉)任教。1987年晋升为副教授,1992年晋升为教授。中国地震学会理事、构造物理专业委员会委员;湖北省地震学会副理事长;中国地质学会地质力学专业委员会委员。研究领域:构造物理、数学模拟与物理模拟、岩石流变学、区域构造学、应用构造学等。

通讯地址:武汉市鲁磨路388号 中国地质大学(武汉)地球科学学院(邮编:430074)

E-mail: zuoxzeng@public.wh.hb.cn      tectonic@etang.com

李志勇,男,生于1979年,汉族,湖北省京山县人。2001年中国地质大学(武汉)地质学专业理科基地班毕业,获学士学位。现为该校构造地质学专业硕士研究生,主攻方向为构造物理与计算机模拟。

E-mail: lec\_zy@etang.com

# 《构造地质学的理论方法与实践》丛书序言

随着科学技术的发展,构造地质学正在逐步朝着解析构造学和定量化构造研究方向发展。解析构造学要求加强力学的研究,将构造几何学、运动学、流变学和动力学有机结合起来进行综合研究;定量化构造研究则要求运用先进技术,不断改进和完善定量化研究手段和方法,以加深对构造过程和构造形成机制的认识。为了促进这两方面的研究,中国地质大学(武汉)与华中科技大学联合成立了“华中构造力学研究中心”。我校“华中构造力学研究中心”的同志们正按此方向进行不懈的努力,做出了一些初步成绩。《构造地质学的理论方法与实践》丛书,部分地反映了这方面的一些探索与实践。

《构造地质学的理论方法与实践》丛书目前先奉献给读者四本专著;《陕甘川邻接区复合造山带与成矿》、《香肠构造与流变学》、《构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发》、《信阳市燃气混气站断裂活动性和场地稳定性研究》。在这些成果中,既有造山带理论研究,也有构造变形与岩石流变学研究;既有在贵金属成矿预测和石油地质方面的应用研究,也有在工程场地稳定性应用方面的研究;还有计算机在构造地质应用方面的研究。

《陕甘川邻接区复合造山带与成矿》一书,根据作者在该区的实践,将滑脱构造和挤出构造有机结合起来,将造山带二维挤出推广到三维挤出,建立了陕甘川邻接区复合造山带三维滑脱挤出构造新模式,将造山带构造几何学、运动学、流变学、年代学和动力学研究紧密结合起来,并结合地球物理、地球化学、遥感地质、计算力学等多种手段和方法,采用地理信息系统综合分析,建立了该区复合造山带与成矿的关系,探索了成矿规律和成矿条件,进行了成矿远景区预测。提出的新模式、新概念、新理论和新方法对造山带与成矿的理论和实践具有重要意义。

《香肠构造与流变学》一书,重点介绍了作者们在香肠构造和岩石流变学方面的研究进展,特别是作者研究了应用香肠构造反演岩石流变参数(包括应力指数和粘度比)方面的成果。利用构造变形反演岩石流变参数的定量方法主要有应变折射流变计、能干层褶皱流变计和香肠构造流变计。《香肠构造与流变学》一书中重点研究的香肠构造流变计方法是目前国际上常用的这三种方法之一,是作者们

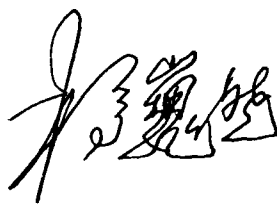
的开创性成果。作者们在国内首次(国际上第二次)发现了骨节状石香肠构造,并对复合石香肠构造进行了专题研究。在模型流变参数测定、透射电镜的应用以及在香肠构造控矿作用等方面,都有作者们自己的探索。

《构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发》一书,介绍了作者们编制的包含地质构造数据投图、有限应变测量、断裂和岩层几何参数测定、岩石流变参数测量等方面的 12 项功能的构造地质学软件包 StrucKit 以及构造面曲率分析软件 SurCurv 和液压模拟实验仪数据自动采集系统。这些软件反映了作者们在应用计算机进行构造地质学定量研究方面的一些成果和探索,对于构造地质学的定量化教学和有关科研和教学人员使用,是非常有益的。

《信阳市燃气混气站断裂活动性和场地稳定性研究》一书中,作者们以地球系统科学理论为指导,应用构造地质学、岩石学、地层学、新构造学、地貌学及第四纪地质学、计算力学、年代学、地球物理学、地震地质学、工程测量学、遥感地质学、工程地质学等多学科的理论与方法,对信阳市燃气混气站断裂活动性和场地稳定性进行了综合研究和评价,在多学科知识、方法的整合和技术的有效应用方面有显著的进展,为工程场地稳定性评价积累了有益的经验。

对“华中构造力学研究中心”的目标而言,这些成果虽然还是初步的,但反映了作者们朝着解析构造学和定量构造学方面做出的探索和实践。今后我们将沿着这两方面不断努力,期望有更多的新成果奉献给读者。

华中构造力学研究中心副主任



2002 年 10 月

# 前言

构造地质学软件包——StrucKit 的设计与开发,在国内还是首例。它是用可视化编程工具 Visual Basic 6.0 开发完成的,具有用户熟悉的 Windows 图形界面,操作简便,结果多以图形显示,具有很好的直观性。

StrucKit 集成了 12 项功能,具体如下:

(1) 岩石有限应变测量的反向轮法:根据 Panozzo 在 1987 年提出的原理,笔者结合计算机图像学,实现了计算机在图像上自动求取岩石有限应变的大小,同时也可得到颗粒优选方位。利用计算机图像学原理,让计算机判断颗粒边界,统计图像上各方位的颗粒边界数目,用最小二乘法拟合出边界数目在不同方位的分布情况。

(2) 岩石有限应变测量的 Fry 法:按照 Fry 的心对心法,编制了该功能,同时也简化了颗粒中心的求取,可以直接在计算机上用鼠标点取颗粒中心,计算机自动保存中心坐标。对颗粒边界清晰的图像,该程序还可以自动追踪颗粒边界,求取中心。最后,得到 Fry 点图,并在 Fry 点图的中空椭圆边界拟合出应变椭圆,得出应变大小和方位。

(3) 模型非均匀有限应变场测定的陈氏网格法:该功能实现了陈氏网格法(大变形网格法)的原理,并使模型变形前后网格角点坐标的求取变得轻松,直接用鼠标在变形前后的图像上点取即可。计算得出的应变场数据可用于做等值线图,很直观显示模型的有限应变场和有限转动场特征。

(4) 构造优势方位的确定:根据构造产状在等面积网(施密特网)上投图方法,编制该功能程序,自动转换构造的面状或线状产状为平面二维坐标的  $X$ 、 $Y$  值,然后在等面积网上投点,得到构造产状极点图。构造产状投图工作中一个很有用的功能就是得出产状的优势方位,在该功能程序中,利用网格等值线法原理,做出构造产状等密图,同时还根据不同等级的等值线求出优势中心。

(5) 节理玫瑰花图:玫瑰花图在地质与工程上用得较多,能很清楚地反映产状的统计方位。节理玫瑰花图同样按统计方法,得到每  $10^\circ$  间隔内的产状数目并以图形显示在表示方位的圆内。

(6) 岩组图的计算机绘制:岩组数据的投图较复杂,首先要进行数据的转换,得到大地坐标下的数据,再按“构造优势方位的确定”这一功能块的作图方法进行作图,也得到施密特网上的极点图和等值线图。

(7) 三点法求岩层产状:岩层在空间的展布,就似空间坐标系中的一个平面,不在一条线上的任意三点就可以确定一个平面,所以利用岩层上不在同一直线的三点坐标,就能确定唯一的岩层产状。程序根据输入的三点坐标值  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$  和  $(x_3, y_3, z_3)$  就能求出岩层的产状。

(8) 岩层真厚度计算:岩层在空间的展布,可看作两平行平面在空间坐标系中的展布,任一导线穿过这两平面,如已知导线的方位及其在两平面上交点之间的距离,就可求出这两平面

之间的距离。同样道理,根据导线产状、岩层产状、导线与岩层上下层面交点之间的长度,就可以求出岩层真厚度。该功能与三点法求岩层产状都可适用于地图上的数据和野外实测数据。

(9) 断裂线曲率计算:把断裂线图像转换为黑白二值图像,用计算机图形学上的八邻域法可以追踪出断裂线任一小段的轨迹坐标,再利用轨迹坐标进行最小二乘法三次拟合,得到拟合曲线方程,再由曲率计算公式,可以得出断裂线上各点的曲率值。本功能程序中,还以不同半径的圆来示意断裂线各点的曲率相对大小。这些曲率值同其点坐标值都存入文本文件,可用于曲率密度统计分析等相关工作。

(10) 能干层褶皱流变参数的估算:褶皱的几何形态可以反映岩石的流变性质,功能程序中对褶皱几何形态采用傅里叶函数拟合得出褶皱几何形态的曲率分布图和曲率指数大小,根据曲率指数在 Hudleston 等的有限元模拟数据曲线图上的投点,可估算出岩石应力指数,最后可求出能干层与非能干层的粘度比。

(11) 褶皱  $\pi$  图解:褶皱两翼上的产状数据投图落在一大圆弧线附近,根据这些点与枢纽相垂直的关系,它们的矢量积应为零,按最小残差平方和理论,可以拟合出大圆弧并可近似得出褶皱的枢纽产状。

(12) 褶皱  $\beta$  图解:褶皱两翼上的产状数据投图分别落在两极密点处,这就可以分别用两翼产状数据的平均矢量求得代表褶皱两翼的平面产状。这两个代表性平面产状的交线为褶皱枢纽,其交角为褶皱翼间角,交角的平分面近似可看作褶皱轴面。

该软件包的不足之处肯定还有,需要以后不断地改进与完善。相对于以前的 DOS 程序,其优点还是很明显:功能的集成、界面的图形化、结果直观、操作简便、运算精度和效率较高等。StrucKit 对构造地质工作有较大的帮助,可减轻人力物力,提高工作效率;也可用于构造地质演示与教学;对构造相关领域也有一定的帮助和借鉴作用。

本书在成文及出版过程中,得到了很多朋友的帮助,在此表示感谢!

软件在开发过程中,得到了上海市隧道工程轨道交通设计研究院二所袁金荣工程师的很大帮助,他在岩组数据的坐标转换方面提供了指导性意见,此外对软件开发过程中遇到的问题也提出了很多解决的办法,在此向袁金荣工程师表示衷心的感谢!

同时,还要特别感谢中国地质大学(武汉)构造模拟实验室刘立林高级工程师,在软件开发及专著编写过程中,提供了良好的工作环境。

感谢构造教研室樊光明教授、余英讲师!感谢博士生李细光、隋志龙、崔学军!感谢硕士生樊春、徐云峰、吴武军、蔡永建、余淳梅、曾建国、李晓、肖军、朱蓓、张凌等,他们从不同角度为本书的出版给予了帮助。

特别感谢华中构造力学研究中心副主任杨巍然教授、构造教研室索书田教授长期对构造模拟实验室的热心关怀和指导,以及对本书出版的热情鼓励和大力支持。

本书的研究和出版得到了国家理科基地创建名牌课程项目、国家自然科学基金、湖北省地球表层系统开放实验室基金和华中构造力学研究中心的资助,在此一并致谢!

作 者  
2002 年 6 月

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第一章 绪 言                    | (1)  |
| 第一节 软件开发目标                 | (1)  |
| 第二节 国内外研究现状                | (1)  |
| 第二章 系统设计与开发方案              | (4)  |
| 第一节 系统需求分析                 | (4)  |
| 第二节 系统结构设计与开发方案            | (4)  |
| 第三章 功能块的原理与程序开发            | (6)  |
| 第一节 岩石有限应变测量的反向轮法          | (6)  |
| 第二节 岩石有限应变测量的 Fry 法        | (12) |
| 第三节 模型非均匀有限应变场测定的陈氏网格法     | (17) |
| 第四节 构造优势方位的确定              | (25) |
| 第五节 节理玫瑰花图                 | (32) |
| 第六节 岩组图的计算机绘制              | (36) |
| 第七节 三点法求岩层产状               | (41) |
| 第八节 岩层真厚度计算                | (44) |
| 第九节 断裂线曲率计算                | (46) |
| 第十节 能干层褶皱流变参数的估算           | (50) |
| 第十一节 褶皱 $\pi$ 图解           | (56) |
| 第十二节 褶皱 $\beta$ 图解         | (59) |
| 第四章 结 论                    | (64) |
| 参考文献                       | (65) |
| 英文摘要                       | (67) |
| 附录一 构造面曲率分析软件 SurCurv 程序设计 | (70) |
| 附录二 液压模拟实验仪数据自动采集系统及其软件设计  | (91) |
| 附录三 滑脱断层曲率在金矿成矿规律研究中的应用    | (96) |

# CONTENTS

|              |                                                                                                                              |      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| CHAPTER I    | INTRODUCTION .....                                                                                                           | (1)  |
| I - 1        | The target of the software exploitation .....                                                                                | (1)  |
| I - 2        | The present situation of structural software .....                                                                           | (1)  |
| CHAPTER II   | SYSTEM DESIGN AND THE EXPLOITATION SCHEME .....                                                                              | (4)  |
| II - 1       | The analysis of the needs for the system .....                                                                               | (4)  |
| II - 2       | The design and exploitation scheme .....                                                                                     | (4)  |
| CHAPTER III  | THE PRINCIPLE OF THE FUNCTIONAL MODULES AND THE<br>PROGRAM COMPILING .....                                                   | (6)  |
| III - 1      | The inverse SURFOR wheel method for the determination of finite strain<br>.....                                              | (6)  |
| III - 2      | The Fry method for the determination of finite strain .....                                                                  | (12) |
| III - 3      | Chen's grid method for the inhomogeneous strain field in a model .....                                                       | (17) |
| III - 4      | The calculation of structural preferred orientation .....                                                                    | (25) |
| III - 5      | The rose diagram for joints .....                                                                                            | (32) |
| III - 6      | The construction of the fabric diagram for rocks .....                                                                       | (36) |
| III - 7      | The three-points problem for the attitude of a bedding .....                                                                 | (41) |
| III - 8      | The calculation of the true thickness of a layer .....                                                                       | (44) |
| III - 9      | The calculation of the curvatures along fault-curves .....                                                                   | (46) |
| III - 10     | The estimation of rheological parameters using competent layer fold .....                                                    | (50) |
| III - 11     | The $\pi$ diagram for folds .....                                                                                            | (56) |
| III - 12     | The $\beta$ diagram for folds .....                                                                                          | (59) |
| CHAPTER IV   | CONCLUSIONS .....                                                                                                            | (64) |
| REFERENCES   | .....                                                                                                                        | (65) |
| ABSTRACT     | .....                                                                                                                        | (67) |
| APPENDIX I   | PROGRAM COMPILING OF THE SOFTWARE "SURCURV"<br>FOR CURVATURE ANALYSIS OF STRUCTURAL SURFACES<br>.....                        | (70) |
| APPENDIX II  | AN AUTOMATIC ACQUISITION SYSTEM FOR DATA FROM<br>HYDRAULIC MODELING INSTRUMENT AND SOFTWARE<br>DESIGN .....                  | (91) |
| APPENDIX III | THE APPLIATION OF DECOLLEMENT-FRACTURE CURVA-<br>TURE TO PREDICTION OF PERSPECTIVE DISTRICTS OF<br>GOLD MINERALIZATION ..... | (96) |

# 第一章 绪 言

## 第一节 软件开发目标

随着社会的发展,计算机无论在科研,还是在生活中都起到越来越重要的作用。计算机的广泛应用,不仅提高了工作效率,而且还提高了精度,达到事半功倍的效果。正因为计算机的巨大作用,目前在地质学科领域,人们尽可能地利用计算机来解决地质中的问题。如地震分析、水文分析、岩石矿物识别、地质数据的统计分析、矿产预测分析、构造要素的确定、地质数据的投图等方面。

在构造研究分析中,常常要解决诸如投图(玫瑰图的绘制、极密图的绘制、 $\pi$ 图解、 $\beta$ 图解、岩组图等)、岩石有限应变测量(Fry 法应变测量、反向轮法应变测量、网格法应变测量等)、岩石流变参数测量(根据褶皱曲率指数求应力指数及粘度比等),以及构造等值线的绘制、构造要素的确定、岩层真厚度计算等问题。这些问题如果用人工来解决,不仅费时费力,而且精度也不高。而利用计算机处理这些问题,能大大提高工作效率和数据精度,节省人力、物力和财力。

在国外,广泛使用的构造工具软件有:WinTek、GEOSTRUK、Stereonet、StereoPro 等。它们解决的构造问题主要是构造要素的赤平投影、绘制极密图、绘制玫瑰图等。这些软件都是 Windows 应用程序,界面友好,使用简便。

在国内,解决构造问题的程序开发也比较多,但这些程序主要是在 20 世纪 80 年代开发的,大部分都是 DOS 下的 BASIC 语言程序,用户界面非图形界面,且没有很好集成。在 PC 机及 Windows 操作系统广泛应用的今天,DOS 下的程序不易得到广泛的使用,这是目前国内尚没有应用广泛的构造软件包的原因之一,国内基于 Windows 操作系统的构造工具包软件还没有现成的。

吸取当前国内外构造工具软件的优点,改正其缺点,开发出功能比较齐全的 Windows 构造地质学软件包——StrucKit,将会对构造地质研究起到很大的作用,提高研究的工作效率和数据精度,促进构造研究从定性、半定性向定量研究方向的发展。此外,《构造地质学》教材还没有配备构造地质学工具包软件,为教材增加一个软件包,这也会对教学效果起到一定的促进作用,增加学生学习的兴趣。

## 第二节 国内外研究现状

### 一、国外研究现状

在国外,广泛使用的构造工具软件有:

WinTek: A. Peterck 和 S. Krumm 1996 年开发,分析构造数据,能进行施密特网投图,绘制玫瑰图、等值线,构造数据统计,计算特征向量。

GEOSTRUK;Dr. Domagoj Jamicic 1996 年开发,能用于分析构造数据、施密特网投图、 $\beta$ 图解、绘制等值线、构造数据统计、分析轴方位等。

SteroNett;Johannes Duyster 1997 年开发,能用于定向数据的显示、转换和分析,等面积投图,等三角投图,上半球投影及下半球投影,数据旋转方位等。

StereoPro;Dr. Martin Walters 1997 年开发,能用于绘制立体图,等面积投图,绘制极密图,绘制等值线,统计分析,绘制玫瑰图等。

这四个构造工具软件解决的构造问题主要是构造要素的赤平投影、绘制极密图、绘制玫瑰图等。它们都是面向 Windows 的应用程序,界面友好,使用简便。但功能只涉及构造方面的投图,还不很全面。

国外解决构造问题的专门程序也发展较快。

B. Allard, K. Benn(1989)利用计算机分析岩石图像中矿物形态优选方位;R. M. Robson(1994)编制出多部(件)玫瑰图程序;R. G. Amin 和 N. Fry(1995)研制出 Fortran77 程序 CSTRAIN 来研究二维模拟模型中 Fry 点图;R. W. Carlson 和 T. L. Grove(1996)开发了研究非洲南部太古宙克拉通的地壳和地幔构造模型的应用程序;Michael W. Knappertsbusch(1998)研制了简易的 Fortran77 程序来识别区域边界;J. Scott Goodchild 和 Frank Fueten(1998)利用旋转极平台提取岩石图像中矿物颗粒边界。

总的来说,国外研究构造问题的软件和程序较多,软件主要集中在构造投图方面与专门的研究课题,这些方面要比国内领先一步。但是也缺乏功能比较齐全的构造地质学软件包。

## 二、国内研究现状

国内,解决构造问题的程序研制得较多,如汤经武和杨学敏(1989)介绍了他们编制的 17 个构造工具程序——PC-1500 型袖珍计算机使用的 BASIC 程序,这是国内功能比较齐全的构造工具程序集。刘因和郝建民(1989)编制了一个对构造要素作赤平投影处理的多功能微机程序。贺锦辉(1988、1990)建立了求解流面、流线构造产状和分析褶皱类型的数学模型及 BASIC 程序,以及求解构造要素和主应力轴方位的公式及 BASIC 程序;袁金荣(1994)用 C 语言编制了岩组图绘制软件<sup>①</sup>;付永涛等(1997)用 VB 编制了求褶皱曲率指数分析系统;佟洁(1998)发表了计算岩层真厚度编程;郭玉荣等(1998)编制了边坡稳定性分析软件 SSA;吕勇平、戴景茹(1998)发表了离散点插值方法、等值线的绘制及平滑技巧;璩继立、顾英俊(1998)用 C++ 语言编制了极点图绘制程序;郭爱煌(1998)发表了测井资料计算机自动分层与岩性识别;石磊等(1998)发表了岩石变形图像分析的计算机统计方法初探;冯源(1998)发表了自动绘制等值线图形;关小平、金淑燕(1999)用 VB 语言开发出绘制岩组图的 Windows 程序;李海全、于丽霞(1999)发表了用向量法求矿脉产状等。

从以上这些情况可以看出,构造研究采用的软件主要是在 20 世纪 90 年代开发的,用户界面不是图形界面,多数都是 DOS 下的 BASIC 程序,且没有很好的集成。可以说,在 PC 机及 Windows 操作系统取得广泛应用的今天,DOS 下的程序是不会得到广泛使用的。从 90 年代末至今,解决构造问题的计算机程序有所发展。但总的来说,还是缺乏功能比较齐全的构造地质学工具包软件,这就留下了不少研究课题:如对原有 DOS 程序的升级、改进和对一些原来没有

<sup>①</sup> 袁金荣. 秦岭——大别高压超高压变质带构造特征及构造演化(硕士学位论文). 中国地质大学资料馆, 1994

实现的功能进行编程实现；如以前 Fry 法应变测量都是人工求取变形标志体(或矿物颗粒)中心,现在应自动追踪变形标志体中心；又如以前矿物颗粒边界图形都是手工绘制,现在可以编程自动提取；还如构造多个优势方位的求取(国外的软件一般都不能得到),现在可以用趋势面计算多个峰值求取优势方位等。这些方面的改进可以进一步提高软件的自动性能,减少人工操作引起的误差。

## 第二章 系统设计与开发方案

### 第一节 系统需求分析

随着社会的发展,计算机在科研中起到越来越重要的作用。计算机的广泛应用,不仅提高了工作效率,而且还提高了准确度,达到事半功倍的效果。正因为计算机的这些作用,目前在地质学科领域,人们尽可能地利用计算机来解决地质中的一些问题。

在构造研究分析中,常常要解决诸如投图(玫瑰图的绘制、极密图的绘制、 $\pi$ 组构图、岩组图、构造要素的赤平投影)、应变测量(Fry 法应变测量、反向轮法应变测量、模型非均匀有限应变场测定陈氏网格法等)、岩石流变参数(根据褶皱曲率求应力指数等),以及构造等值线的绘制、构造要素的确定、岩层真厚度计算、断裂线曲率计算等问题。这些问题如果用人工来解决,不仅费时费力,而且精度也不高。利用计算机处理这些问题,能大大提高工作效率和数据精度,节省人力、物力和财力。

以上构造问题的解决,需要计算机程序来自动完成,对程序的要求是:操作界面友好,运算速度快,结果多以图形显示,数据可以在操作界面输入、保存;也要求能与别的数据文件接口,如文本文件等;个别的问题要求输入图形进行处理,如断裂线曲率、岩石反向轮法应变测量等;对这些构造问题的解决还要在一个集成的软件中进行。

### 第二节 系统结构与开发方案

根据系统需求,设计一个框架结构合理的系统是十分必要的。出于紧凑和相对独立的角度,设计出 12 个功能块,详细见表 2-1。

表 2-1 系统的功能块名称

| 构造问题分类 | 功 能 块 名 称                                        |
|--------|--------------------------------------------------|
| 数据投图   | 构造产状极点图、等密图、节理玫瑰花图、岩组图、褶皱 $\pi$ 图解、褶皱 $\beta$ 图解 |
| 应变测量   | Fry 法测岩石应变、反向轮法测岩石应变、网格法测模型非均匀应变场                |
| 几何参数   | 断裂线曲率、三点法求岩层产状、岩层真厚度计算                           |
| 流变参数   | 流变参数                                             |

对各功能块的开发,采用微软可视化编程工具 Visual Basic 6.0。Visual Basic 6.0 是面向对象,快速开发 Windows 程序的可视化设计工具。各功能块是单个逐一开发,先开发出核心代码,再进行调试与界面的优化,最后根据整体再做一定的调整与修改。

各功能块的设计原理如下:

**岩石有限应变测量的反向轮法:**根据 R. Panozzo 在 1987 年提出的原理,结合计算机图像学,实现了计算机在图像上自动判断颗粒的边界,求取岩石有限应变的大小,同时也可得到颗

粒优选方位。

**岩石有限应变测量的 Fry 法:**按照 Fry 的心对心法,编制该功能,同时也简化了颗粒中心的求取,可以直接在计算机上用鼠标点取颗粒中心,计算机自动保存中心坐标。

**模型非均匀有限应变场测定的陈氏网格法:**该功能实现了陈氏网格法的原理,并使模型变形前后网格角点坐标的求取变得轻松,直接用鼠标在变形前后的图像上点取即可。

**构造优势方位的确定:**根据构造产状在等面积网(施密特网)上投图方法,编制该功能程序,首先转换构造的面状或线状产状为平面二维坐标的  $X$ 、 $Y$  值,其次在等面积网上投点,得到构造产状极点图,再利用网格法等值线原理,画出产状等密图,同时还根据不同等级的等值线求出优势中心。

**节理玫瑰花图:**玫瑰花图在地质与工程上用得较多,能很清楚地反映产状的统计方位。节理玫瑰花图按统计方法,得到每  $10^\circ$  间隔内的产状数目并以图形显示在表示方位的圆内。

**岩组图的计算机绘制:**岩组数据的投图较复杂,首先要进行数据的转换,得到大地坐标下的数据,再按“构造优势方位的确定”这一功能块的作图方法进行作图。

**三点法求岩层产状:**岩层在空间的展布,就似空间坐标系中的一个平面,不在一条线上的任意三点就可确定一个平面;所以利用岩层上不在同一直线的三点坐标,就能计算出岩层产状。

**岩层真厚度计算:**岩层在空间的展布,可看作两平行平面在空间坐标系中的展布,任一导线穿过这两平面,如已知导线的方位及其在两平面上交点之间的距离,就可求出这两平面之间的距离。同样道理,根据导线产状、岩层产状、导线与岩层上下层面交点之间的长度,就可以求出岩层真厚度。该功能与三点法求岩层产状都适用于地图上和野外的实测数据。

**断裂线曲率计算:**把断裂线图像转换为黑白二值图像,用计算机图形学上的八邻域法可追踪出断裂线的轨迹坐标,再利用轨迹坐标进行曲线拟合,再由曲率计算公式,可以得出断裂线上各点的曲率值。

**能干层褶皱流变参数的估算:**褶皱的几何形态可以反映岩石的流变性质,功能程序中对褶皱几何形态采用傅里叶函数拟合法得出褶皱几何形态的曲率分布图和曲率指数大小,根据曲率指数在 Hudleston 等的有限元模拟数据曲线图上的投点,可估算出岩石应力指数,最后求出能干层与非能干层的粘度比。

**褶皱  $\pi$  图解:**褶皱两翼上的产状投点落在一大圆弧线附近,根据这些点与枢纽相垂直的关系,它们的矢量积应为零。按最小残差平方和理论,可以拟合出大圆弧并得出褶皱的枢纽产状。

**褶皱  $\beta$  图解:**褶皱两翼上的产状投点落在两极密处,这就可以分别用两翼产状数据的平均矢量求得代表褶皱两翼的平面产状。这两个代表平面产状的交线即为褶皱枢纽,两平面夹角为褶皱翼间角,其平分面近似可看作褶皱轴面。

该软件的开发,是按一个正规软件设计开发的,具有框架性和步骤性。其工作量很大,包括:12 个功能块构造原理的研究、功能块的设计、代码的编写及调试、帮助文档的编写和软件的优化等等。

### 第三章 功能块的原理与程序开发

#### 第一节 岩石有限应变测量的反向轮法

##### 一、基本原理

随着计算机和计算机图形学的发展,地质构造的一些测量已经由手工向计算机自动测量方向发展。如 R. G. Amin(1994)用计算机实现 Fry 法应变测量点图,B. Allard 和 K. Benn(1988)用计算机在岩石薄片图像上实现优选方位的自动测量。本节应变测量基于的反向轮法是由 R. Panozzo 在 1987 年提出的,由于当时是手工进行测量,所以未得到充分利用。其基本理论是:岩石在未变形时各种组构是随机的、各向同性的,但变形后将出现一定的优选方位,在给定截面上可得到有限应变椭圆。假设变形前岩石中矿物颗粒随机分布,则给定线段在任一向向与矿物边界相交几率不变,即

$$n(\varphi) = N = \text{常数} \quad (3-1)$$

式中: $N$  为变形前单位线段与颗粒边界交点个数, $\varphi$  为线段与参考轴  $X$  之间的夹角。

岩石变形后,所选线段与矿物颗粒边界交点个数不变,但线段长度以及交点间的距离发生了改变, $X$  轴变为  $X'$  轴,所给线段与  $X'$  轴的夹角为  $\varphi'$ 。当应变椭圆长轴与  $X'$  轴不平行时,有一夹角  $\varphi_1$ ,则单位长度线段与颗粒边界交点数为:

$$n'(\varphi') = N \cdot \sqrt{\lambda'_1 \cdot \cos^2(\varphi' - \varphi_1) + \lambda'_3 \cdot \sin^2(\varphi' - \varphi_1)} \quad (3-2)$$

其中,  $\sqrt{\lambda'_1}$  和  $\sqrt{\lambda'_3}$  是倒易主长度比,这实际上是一个椭圆公式。于是,应变椭圆轴比可表示成:

$$a/c = \sqrt{\lambda'_3} / \sqrt{\lambda'_1} = n'(\varphi')_{\max} / n'(\varphi')_{\min} \quad (3-3)$$

应变椭圆长轴方向为:

$$\varphi_1 = \varphi'_{\min} \quad (3-4)$$

实际手工操作时,在一个圆内作一系列平行线制成轮状,测量时将轮心固定在  $X'$  轴原点,每次反向转动一个角度(图 3-1),平行线与  $X'$  轴的交角为  $\varphi'$ ,统计对应不同  $\varphi'$  角度时平行线上颗粒边界总数,直到转动  $180^\circ$ ,这便得到一系列数据(表 3-1),在平面直角坐标系中,作  $n'(\varphi')$  对  $\varphi'$  的投点,并进行曲线拟合。

曲线最高点对应  $n'(\varphi')_{\max}$ ,最低点对应  $n'(\varphi')_{\min}$ 。

反向轮法测应变这一功能块就是用计算机来实现反向轮法测量岩石有限应变的这一系列手工操作,以实现应变测量的自动化和提高数据统计的精度和测量效率。

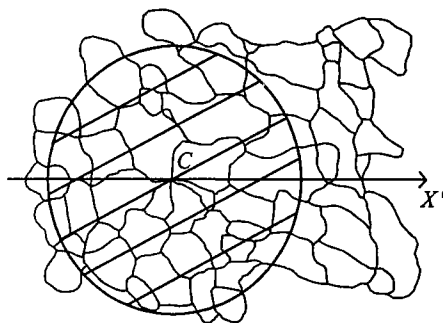


图 3-1 反向轮法的手工测量示意图