

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

五 构造地质 地质力学 第18号

冀东西段金矿控矿构造模式
与找矿方向

宋友贵 周显强 张磊明 王兴华 陈正东 徐守化 著

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

五 构造地质地质力学 第16号

冀东西段金矿控矿构造 模式与找矿方向

宋友贵 周显强 张国铎 王兴华 陈正乐 徐守礼 著

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书是一部运用地质力学理论(包括其它学科理论)比较系统、全面地研究冀东西部地区金矿的专著。作者以丰富的实际资料和多学科的理论知识分析了区域成矿地质条件和典型金矿床地质构造特征;采用先进技术手段深入研究了控矿断裂系统和古构造应力场;系统论述了金矿成矿机制和空间分布规律;首次提出了多级控矿构造模式,指出了找矿远景地区。此外,作者第一次把声发射方法应用到构造地质和矿产地质研究,探索了控矿断裂最大古应力值。

本书可供从事地质工作的科研、教学和生产人员参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报

五 构造地质地质力学 第16号

冀东西段金矿控矿构造模式与找矿方向

宋友贵 周显强 张国铎 王兴华 陈正乐 徐守礼 著

责任编辑:白 铁

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 5.75 铜版图: 2页 字数: 131000

1992年7月北京第一版·1992年7月北京第一次印刷

印数: 1—950册 定价: 6.45元

ISBN 7-116-01031-9/P·879

前 言

冀东是我国重要的金矿集中区之一，具有良好的金矿成矿地质条件，已发现金厂峪、峪耳崖、桦尖等大、中型金矿床。在冀东西段，金矿点星罗棋布，但仅有茅山、高家店、麻家峪等少数几个小规模原生金矿床。许多地质队及一些科研、教学单位从不同的方面做了大量的工作，取得了一些成果。但是，在金矿成矿的主要控制因素——构造方面，仍然存在着尚待解决的问题。中国地质科学院地质力学研究所与河北省地矿局秦皇岛地质大队协作，于1988年至1989年，开展了“冀东西段金矿控矿构造模式及找矿方向”为题的科研工作。

该项科研工作是以控矿构造的研究为核心，以翔实的野外地质调查为基础，采用构造地质、遥感地质等综合分析方法，运用应变测量、岩石组构分析、透射电镜等手段，深入地研究了控矿断裂系统特征和它们的成生、发展、演化历程以及它们对金矿的控制作用，将区内中生代构造划分为早期东西向构造体系和山字型、晚期新华夏系，并确立新华夏系为主要控矿构造；通过对不同走向、不同性质断裂所控制的典型矿床分析、同位素年龄和包裹体温度的测定，进一步研究了金矿形成的控制因素、成矿时代，并追溯了成矿物质来源；用声发射和石英晶格位错等方法，测量出研究区内地史最大应力值和主要断裂的差应力值；用有限元方法数学模拟研究区的构造应力场，揭示区域构造形成的演化机制及矿床在应力空间的赋存规律。在充分论述成矿条件以后，作者总结出一系列金矿成矿规律，提出多级控矿构造模式，并在此基础上，进行金矿预测，提出了六个金矿成矿远景区和可供进一步勘探验证的七个靶区。

在区域构造、金矿空间分布规律、多级控矿构造模式等方面，作者有一系列新见解。尤其是书中提出的新华夏系与复活的東西构造带复合控制金矿分布的新认识；多组合石英英脉雁列轴交汇部位控制金矿产出的新概念以及首次提出的多级控矿构造模式等，对冀东地区乃至整个中国东北部金矿找矿勘探工作都具有重要指导意义，并为隐伏矿床（体）的预测提供了一条新途径。文中提出的远景区、靶区以及新建议，有的已在生产实践中得到初步的验证。

参加本书编写的工作人员有宋友贵^①、周显强^①、张国铎^①、王兴华^②、陈正乐^①、徐守礼^③等。

地质力学所丁原辰、许书火、张淑坤、茅文英副研究员及刘兆霞、彭华、武红岭、田晓娟助理研究员承担了声发射、同位素年龄测定、遥感信息计算机处理和部分化学分析工作；秦皇岛地质大队承担了部分样品的化学分析；中国科学院地质所谢奕汉副研究员在包裹体测温方面给予了帮助；白铁同志翻译了英文摘要及目录，王西川同志进行了校对，在此谨向他们致以最诚挚的谢意。

- 地质力学研究所；
- 秦皇岛地质大队；
- 中国地质科学院研究生部硕士研究生。

目 录

第一章 区域地质概况	1
第一节 地层	1
第二节 岩浆岩	2
第三节 构造	3
第四节 区域构造的遥感分析	3
第二章 断裂系统	12
第一节 东西向断裂	12
第二节 南北向断裂	15
第三节 北东—北北东向断裂	17
第四节 北西向断裂	23
第五节 构造演化	25
第三章 金矿床	27
第一节 金矿床类型	27
第二节 茅山金矿床	27
第三节 高家店、麻家峪金矿床	31
第四节 片石峪金矿床	34
第五节 成矿时代和矿质来源	36
第六节 成矿温度	39
第四章 构造应力场的研究	44
第一节 声发射方法测定地史最大应力值	44
第二节 石英自由位错估算差应力值	46
第三节 岩组分析	49
第四节 构造应力场数学模拟	52
第五章 成矿规律与控矿构造模式	58
第一节 成矿机制	58
第二节 金矿空间分布规律	60
第三节 控矿构造模式	65
第六章 成矿预测	67
第一节 成矿综合信息	67
第二节 成矿远景区	69
第三节 展望与建议	72
参考文献	75
英文摘要	77
图版及其说明	84

CONTENTS

Chapter I Regional geological setting	1
1. Stratigraphy	1
2. Magmatic rocks	2
3. Structures	3
4. Remote sensing analysis of regional tectonics	3
Chapter II Fault systems	12
1. EW-directed fault belt	12
2. SN-directed fault belt	15
3. NE-NNE-directed fault belt	17
4. NW-directed fault belt	23
5. Tectonic evolution	25
Chapter III Gold deposit	27
1. Types of gold deposits	27
2. Maoshan gold deposit	27
3. Gaojiadian and Majiayu gold deposit	31
4. Planshiyu gold deposit	34
5. Metallogenic epoch and ore sources	36
6. Ore-forming temperature	39
Chapter IV Study on tectonic stress field	44
1. Maximum stress values measured by acoustic radiation method	44
2. Differential stress value estimated by quartz lattice dislocation	46
3. Fabric analysis	49
4. Mathematic simulation of tectonic stress field	52
Chapter V Metallogenic regulations and ore-controlling structural models	58
1. Metallogenic mechanism	58
2. Spatial distribution of gold deposits	60
3. Ore-controlling structural model	65
Chapter VI Metallogenic prediction	67
1. Comprehensive metallogenic information	67
2. Metallogenic prospecting targets	69
3. Reviews and suggestions	72
References	75
Abstract	77
Plates and Notes	84

第一章 区域地质概况

冀东西段指的是河北省遵化、迁西、兴隆等县境内，东起三屯营，西至黄崖关，北起半壁店，南至平安城，相当于东经 $117^{\circ}15' - 118^{\circ}14'$ ，北纬 $40^{\circ}20' - 40^{\circ}22'$ 之间的地区。

第一节 地 层

区内出露地层主要为太古代迁西群和单塔子群及中、上元古界。迁西群和单塔子群分布在马兰峪背斜轴部，两翼为中、上元古界。

一、古太古界迁西群

迁西群分布在马兰峪—三屯营的广大地区，根据变质建造特征，迁西群可进一步划分为三个组，从下到上依次为东荒峪组、三屯营组、马兰峪组。

东荒峪组 (Arsd) 分布在研究区东部的三屯营以东地区。主要岩性为角闪斜长二辉麻粒岩，其次为角闪斜长次透辉麻粒岩和斜长次透辉麻粒岩以及呈夹层出现的二辉斜长角闪岩、辉石磁铁石英岩、黑云母片麻岩等。

三屯营组 (Ars) 分布于本区东部。它可分出上、下两个岩性段：下部岩性段 (Ars¹) 主要由角闪斜长片麻岩组成，夹二辉斜长片麻岩、斜长角闪岩及磁铁石英岩；上部岩性段 (Ars²) 主要由斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩等组成，夹磁铁石英岩和黑云变粒岩。三屯营组与东荒峪组比较，麻粒岩大大减少，斜长角闪岩类成为主要岩石，磁铁石英岩在数量上明显增多，成为冀东主要的含铁层位。

马兰峪组 (Arm) 分布于本区中部，按岩性分成两个岩性段。本组岩石主要由斜长角闪岩类、斜长片麻岩类、黑云变粒岩类、浅粒岩等组成，夹磁铁石英岩以及少量角闪岩、辉石岩。

二、新太古界单塔子群

马兰峪以西地区出露单塔子群白庙子组 (Arb)，主要岩性为角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩和角闪斜长变粒岩、黑云斜长变粒岩等。

冀东早前寒武纪变质建造原岩恢复表明，这套老变质岩系原岩主要是由一套基性—中酸性火山岩和火山沉积岩—碎屑沉积、泥质沉积和铁质沉积的巨旋回所构成。孙家树、黄莹、乔广生及法籍学者江博明等测得迁西群原岩年龄值大于 3500 Ma (Sm-Nd)，1984 年王松山等研究了曹庄斜长角闪岩的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄谱，认为该岩石的结晶年龄大于 3600 Ma，于润林等研究证明，单塔子群变质年龄 在 2500—2600 Ma，形成年龄应大于 2600 Ma。孙家树等对冀东前长城系地壳运动年龄研究后指出，前长城系地壳经历了四期（即 3000—2800 Ma、2600—2400 Ma、2300—2100 Ma 和 1900—1700 Ma^①）变质变形作用。孙大中等研究了冀东太古宙含金岩石系列后也指出，冀东于 2800 Ma、2500 Ma、2000 Ma 及 1700 Ma

① 孙家树，1987，冀东前长城系地壳运动年龄研究（科研报告）。

发生过重要的岩浆-构造热事件。

本区大部分地区岩石变质程度达到高角闪岩相或退化变质为角闪岩相，局部地区为麻粒岩相，动力变质带（后期动力作用形成）中岩石一般为绿片岩相。

这套岩系原始堆积的金丰度值较高，又经历了多次岩浆-构造作用，金发生了选择性富集；金在角闪岩相岩石中的含量要比在麻粒岩相岩石中的含量高得多。一些地质学家认为，老变质岩系是冀东地区金矿床中金等成矿物质的重要来源之一。

三、中、上元古界

中、上元古界包括长城系和蓟县系，其中长城系出露于区内太古界分布区的南北两侧，蓟县系仅见于区内西北部。中、上元古界为一套海相碎屑岩和碳酸盐岩建造，主要由长石英砂岩、石英砂岩、页岩和白云岩、泥质白云岩等组成。

除上述各时代地层外，在山间沟谷、山前地带带有第四系砂砾、粘土等，这些第四纪松散堆积物为砂金矿的形成创造了条件。

第二节 岩 浆 岩

本区岩浆活动广泛而强烈，且具有多期性特点，其中以太古代和中生代的岩浆活动最为强烈。

太古代以火山喷发为主，形成一套火山-沉积岩；太古代晚期有层状基性侵入体和带状分布的超基性小岩体群。

燕山期是冀东地区岩浆活动最盛时期，以中酸性喷出和侵入活动为主。研究区内主要表现为强烈的岩浆侵入活动，形成中小型岩体及各类岩脉。从西到东出露的中酸性岩体主要有王坪石、麻地、次山、茅山、罗文峪、高家店等岩体。其岩性为花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩以及闪长岩、正长岩及正长闪长岩等。这些岩体侵入于迁西群及单塔子群白庙子组变质岩系中。综合本区燕山期岩浆活动，存在如下特征：①岩体沿马兰峪背斜轴部呈东西方向展布。②岩浆侵位于北东—北北东向断裂与东西构造带复合部位。岩体长轴呈北东—北北东、东西及北西方向展布，岩体边界受这三组方向断裂控制。③从西往东，岩体形成时代有变新的趋势，西部王坪石等岩体形成于燕山早期，同位素年龄值为172—185 Ma^①，中部茅山等岩体形成于燕山中期，同位素年龄值为132—165 Ma^②，东部高家店等岩体形成于燕山晚期，同位素年龄值为115—128 Ma^③。④从西到东，岩石化学成分中碱的含量有增加的趋势。⑤从西往东，岩浆侵入期次增加，往往形成复式岩体。⑥同位素地球化学研究成果证实，燕山期岩浆是结晶基底部分重熔形成的，它继承了迁西群金丰度值高的特点。⑦岩浆期后热液为金矿的形成提供了主要的成矿物质，金矿床和岩体在空间分布上具有密切的关系。

① 河北区队，1966，河北兴隆—宝坻幅（1:20万）区调报告。

② 地科院地质所，1975，京津唐地区同位素地质年龄一览表。

③ 河北地质局第五地质队，1987，高家店金矿区详细普查地质报告。

第三节 构造

本区位于天山-阴山东西复杂构造带东延部分。广泛发育的新华夏系构造与纬向构造带复合,构成区域构造的基本格架。

一、纬向构造体系

马兰峪背斜的核部位于马兰峪-金厂峪一线,宽约 20 km,由太古界迁西群和单塔子群变质岩系组成。轴向近东西向,向西倾伏,东端被断层破坏,长 120 km 左右。南北两翼宽展,主要由中-上元古界组成。马兰峪背斜和分布在其北翼的密云-喜峰口东西向压性大断裂带是本区纬向构造体系的主体。另外,在变质岩分布区发育一系列与东西向大断裂平行的中、小型断裂,它们与大断裂具有相同的性质和相似的发展过程。

二、新华夏系

本区新华夏系以断裂形式表现出来。早期形成的断裂构造,具有 S 型或不完全 S 型形态。它们往往被限制在两条东西走向的大断裂带之间,表现为北 30° — 35° 东的斜列式“S”形构造带。靠近密云-喜峰口大断裂的北北东走向的断裂发生走向上的偏转,即南侧的北北东向断裂向东偏转,北侧的向西偏转。在本区,这类断裂的规模中等,长约几十公里,如三屯营-焦龙峪和开庄-栗树湾 S 型断裂带等,它们是本区的主要控矿构造。另一类北 20° 东走向的断裂具有直线形态,它们切过东西走向的大断裂带,也穿切 S 型断裂,很显然,其形成时代要晚于前者。中国东部有一系列北北东走向的巨型断裂带,如长春-广州、兴安岭-雪峰山断裂带等。本区东部有凌源-德州、青龙-滦县等大断裂,西部有怀柔-石家庄等大断裂。本区发育的北北东走向直线型断裂是上述巨型和中型断裂带之间的三、四级低级别构造,一般延伸长数十公里到百余公里,如片石峪-龙井关、三拨子-西卧牛石断裂等。这类断裂构造也是本区的金矿控矿构造。

值得一提的是,沿东西向出露的太古界变质岩系,其地层、片麻理等走向都为北北东,揭示本区曾经历过一场产生北北东走向的压性结构面的古构造运动,运动时期可追溯到太古代。

三、山字型构造

本区存在两个形态较完整的中、小型山字型构造体系,它们是马兰峪山字型 and 迁西山字型。卷入马兰峪山字型前弧的中、上元古界,在地貌上形成完美的弧形山脉;由内侧的弧形断裂及外侧宽缓的背斜构造组成前弧。弧顶在平安城和龙虎峪附近。西翼反射弧在盘山左附近,由中、上元古界褶皱构成。东翼反射弧在景忠山一带与迁西山字型西翼反射弧相接。脊柱位于茅山一带,发育在迁西群马兰峪组片麻岩中南北走向的片理化带、挤压破碎带(如茅山和王爷陵南北向构造带),就是马兰峪山字型的脊柱成分。迁西山字型前弧发育在中、上元古界中,是由几条弧形压扭性断裂组成;脊柱出现在杨河峪地区,由近南北走向的片理化带组成。

第四节 区域构造的遥感分析

在工作中,我们首次在本区使用了我国国家遥感中心地面卫星接收站接收的美国第五

颗陆地卫星 (PRC-LANDSAT-5) 主题成像仪 (Thematic mapper) 记录的 TM 图像 (图版 I)。TM 图像具有图像清晰、分辨率高的特点。我们选用的 TM 图像是 2、3、4 波段彩色象片, 比例为 1:20 万。接收时间为 1987 年 2 月 2 日, 此季节植被影响不大。图像信息量丰富, 是区域构造分析的理想资料。

一、线性构造目视解译

根据 TM 图像目视解译编制的冀东西段线性构造解译图 (图 1), 可以看出如下特征:

1. TM 图像线性构造特征同已有地质资料基本吻合。冀东西段地质图上已有的线性构造, 如密云-喜峰口断裂带、三屯营-洒河桥 S 形断裂等, 在 TM 图像上均有清晰的影像。

2. 展示区内存在大量线性构造。已有的地质资料表明, 除北部地区外, 本区断裂构造规模一般不大, 连续性差。通过 TM 图像解译, 不但完善了许多断裂构造带, 而且发现了一些新的构造带。在本区老变质岩出露的地区, 发现大量断续、密集为特征的东西走向线性构造, 大致可划分出五个断续出现、横贯全区的断裂带 (详见第二章)。北东—北东向线性构造分带性较强, 大量北东—北东走向的线性构造集中成八个带; 每条断裂延伸较长, 断面较平直, 具压扭性特征; 从形态上看, 可分出直线型和 S 型两种。另外, 发现一些南北走向和北西走向的线性构造, 它们也集中成带, 大多数线性构造比较平直, 显示以扭性为主的特点。

3. 存在大量环形 (包括半环形) 构造



图 1 冀东西段 TM 图像线性构造解译图

Fig. 1 Interpretation map of Landsat-indicated linear structure in Malanyu-Santunying area of Hebei

自从卫星图片问世以来, 环形构造就越来越引起人们的重视。卫星图像中大量的环形信息, 其形态多为圆形、椭圆形或半圆形、半椭圆形等。它们通过色调、形态、结构、地形、水系等形式表现出来。其色调常表现为色环、色斑或套环状, 与背景区色调存在或强或弱的差异。环形构造成因多种多样, 有类似月球表面的陨石坑, 地球形成时热动力作用

痕迹,火山机构、沉积盆地、旋卷构造的环形或弧形断裂、隐伏岩体或岩相分带界线、混合岩化或重熔岩体中心等等。工作区的TM图像中环形、半环形信息也相当丰富,初步解译出的这类构造大约有20多个。它们空间展布有一定规律,大致沿东西向成带,北北东-北东向成列的特点,反映它们同线性构造彼此间存在密切关系。但很明显,本区环形构造同与地质作用有关的环形断裂或弧形断裂、隐伏岩体、岩相分界线、混合岩化、重熔岩体诸因素关系更为密切。值得重视的是,环形构造同许多矿产,特别是一些内生金属矿产关系十分密切,这已为国内外资料所证实。如我国已发现的斑岩型铜矿约有80%位于不同规模的环形构造边缘,苏联已发现的金、银矿床约有80%分布于环形构造中。我国黄金重要产地山东胶西北招远—掖县地区的许多大型、特大型及至中、小型金矿亦同环形构造有关。本区的金矿床(点)同环形构造有着密切的关系,它们多数或者位于环形构造内或者位于环形构造的边缘,更多的是位于环形构造同其它不同方向构造的交汇部位。例如:茅山金矿位于环形构造内南北向构造同北北东、近东西向构造交汇处;四道岭金矿点位于环形构造同开庄—栗树湾北东向构造的交汇部位;高家店金矿位于环形构造内,“S”型构造的腰部;金厂峪金矿床位于环形构造同北北东、东西向构造的交汇部位……。当然不是所有的环形构造都与金矿有关,金矿的形成还受到其它多种因素的制约。但是,环形构造作为寻找金矿的标志,已经引起地质学家的高度重视。

二、TM 图像的统计分析

从数学特征考虑,断裂线性构造信息既有判定性,又有随机性。为了更直观地研究断裂线性构造空间分布规律,运用微机对卫星图像进行数理统计研究,探索地质构造、主要断裂构造同成矿作用的关系,预测成矿有利地段。

1. 线性构造等密度和线性构造交点等值线图

首先将TM图像线性构造解译图网格化。采样网的选择目前尚无确定最佳值的理论和方法,为方便起见我们采用了 $1 \times 1 \text{ cm}$ 为单元的网孔,分别作线性构造长度和交点数的统计。

作线性构造密度等值线图是分别在每个网孔内量出每条线性构造的长度,然后用下式计算该网孔内线性构造的总长度(L)作为该网孔内的密度值。

$$L = \sum_{i=1}^n L_i$$

n —网孔内线性构造的条数; L_i —第 i 条线性构造的长度。

将 L 值置于网孔中心,输入微机作出线性构造等值线图(图2),从图中的等值线分布特征并结合已有地质资料可以看出,区内线性构造分布比较均匀,但仍存在密度高值区,并且分布有一定的规律,即东西和北东两个方向成串分布;进一步分析等密度图等值线形态结构可见,高密度区的两向延长方向主要为东西向、北北东—北东向,南北向和北西向也有反映,这些特征同区域地质资料是一致的。一般认为线性构造高密度异常区,可能是断裂或褶皱发育的部位,也是矿化有利部位。

线性构造交点等值线图是分别统计每个网孔内的线性构造交点数,作为该网孔内的密度值,将这些数值输入微机作出线性构造的交点等值线图(图3)。此图有同线性构造密度等值线图类似的高值区,呈东西和北东—北北东两个方向带状排列,南北向和北西向也有显示。线性构造交点高值区是两组和两组以上构造交汇复合部位,一般反映了构造破碎强



图 2 冀东西段线性构造等值线图

Fig. 2 The isoline map of the linear structure in Malanyu-Santunying area of Hebei

烈, 往往成为成矿溶液运移的有利通道或沉淀、富集场所, 是成矿的有利部位。

2. 等距频率直方图分析

频率分布直方图反映着统计对象的分布特征, 它的特点是用矩形面积, 而不是用高度来表示频率之值。它比较直观地、形象地将统计特征反映出来。

(1) 线性构造密度频率分布直方图

以横坐标为 x 轴, 表示线性构造密度; 纵坐标为 y 轴, 表示频率 (图4)。

线性构造密度频率取自然对数作直方图。

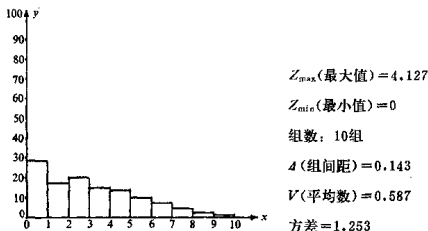


图 4 线性构造密度频率直方图

Fig. 4 Histogram of density and frequency of linear structures

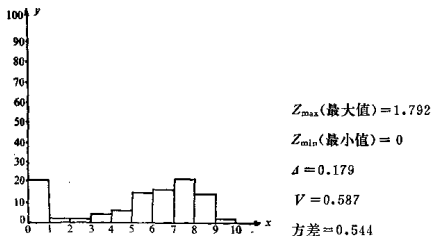


图 5 线性构造密度频率对数直方图

Fig. 5 Logarithm histogram of density and frequency of linear structures

$1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的网孔 (实际面积为 4 km^2) 中, 线性构造平均长度为 0.6 cm , 实际长度为 1.2 km 。图 5 反映出近于二次正态分布, 为两次构造运动所致。

(2) 线性构造交点频数直方图

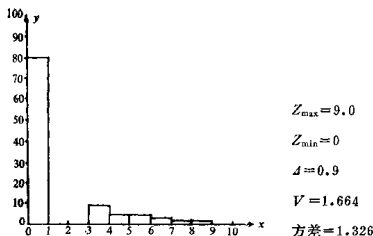


图 6 线性构造交点频率直方图
Fig. 6 Histogram of frequency of linear structural nodes

线性构造交点频数取自然对数作直方图:

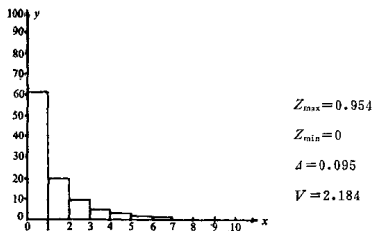


图 7 线性构造交点频率对数直方图
Fig. 7 Logarithm histogram of frequency of linear structural nodes

平均交点数 1.7 左右, 在 0.5—1 范围内频率出现峰值, 为不完全的近似正态分布(图 6、7)

3. 趋势面分析

趋势面分析在于提高等值线图解释的深度, 了解不受局部高密度异常影响的线性构造即区域构造特征的变化趋势。一般来说, 趋势值反映了基本构造, 剩余值则反映构造异常, 即可能的断裂发育的部位。我们分别对线性构造密度等值线图 and 交点等值线图作拟合 1—4 次、1—5 次的趋势面图和剩余值图(图 8—14)。

两图反映了相似的特征。一次趋势面均为长轴成东西的椭圆形态, 高值区在中部, 向南北两侧作对称性的变化, 反映中部可能存在东西向延伸的隐伏断裂带。趋势面图 4 次或 5 次拟合后, 基本形态仍为东西向的椭圆, 并出现多个高值区。高值区的主要排列方向为北东—北北东, 其次为北西, 反映了以东西向和北东向为主体的构造在构造演化史中占主导地位。

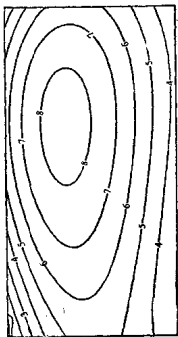


图 8 线性构造密度等值线 3 次趋势面图
Fig. 8 The third-step trend surface diagram of isoline of the linear structural density

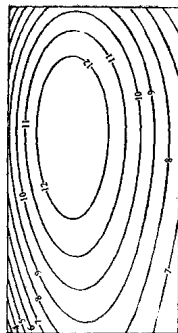


图 9 线性构造交点等值线 3 次趋势面图
Fig. 9 The third-step trend surface diagram of isoline of the linear structural node

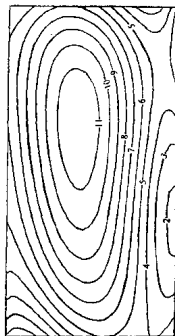


图 10 线性构造密度等值线 4 次趋势面图
Fig. 10 The fourth-step trend surface diagram of isoline of the linear structural density

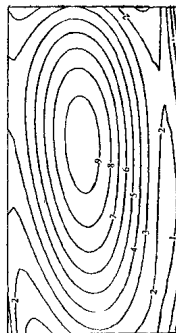


图 11 线性构造交点等值线 4 次趋势面图
Fig. 11 The fourth-step trend surface diagram of isoline of the linear structural node

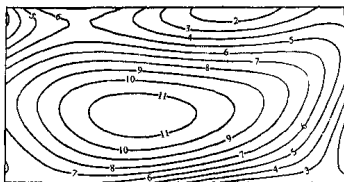


图 12 线性构造密度等值线 5 次趋势面图

Fig. 12 The fifth-step trend surface diagram of isoline of the linear structural density

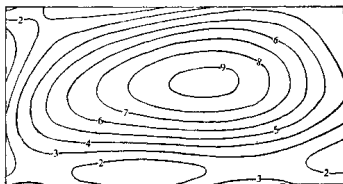


图 13 线性构造密度等值线 5 次趋势面图

Fig. 13 The fifth-step trend surface diagram of isoline of the linear structural node



图 14 线性构造密度等值线 3 次趋势面剩余值图

Fig. 14 The third-step trend surface residual diagram of isoline of the linear structural density