

# 矿田构造研究方法的技术结构

王建平

(中国地质科学院地质力学研究所)

**摘要** 笔者在多年从事矿田构造研究的基础上,对矿田构造学的工作方法进行结构分析,按主要属性分别归纳为观察与探测技术、测试与分析技术、模拟与实验技术、计算机信息处理技术。这个排列恰好与工作程序大体吻合,并对各类方法的技术项作了简要评述,论及应用的条件、学科交叉关系,以及研究的前沿与热点,并介绍了某些适用的新技术。

**关键词** 矿田构造 技术体系 结构分析

## 0 前言

矿田构造学研究中的技术方法,是与该学科找矿工程学属性、解决矿产预测问题的基本任务相联系的。在研究各类矿床的控矿构造时,要注重变形岩石的物理力学性质,充分利用构造学、矿床学及其分支学科的成熟方法,分析各种控矿构造型式,厘定控矿构造体系,进而划分控矿构造的演化阶段,从而廓清在区域上和矿田、矿床范围内,控制矿床、矿体形成分布及形态产状的地质构造条件<sup>(1)</sup>。由于矿田构造学的方法涉及构造学和矿床学中广泛的研究领域,因此有必要将众多的有关方法作一结构分析,并逐一作简要的评述。

按现代科学的4大技术体系<sup>(2)</sup>可将矿田构造学的研究方法概括成与工作程式相关的结构图(图1)。在研究工作中并非必须遵循图1中的次序自上而下进行,可视实际情况对诸多方法有所侧重,有所取舍。矿田构造学的发展需注意以下4方面问题:矿床成因理论与构造控矿理论之间的联系;构造复合控矿与多期构造叠加的几何效应和力学效应之间的联系;多期控矿构造应力场的定性定量动态研究及其与区域构造演化之间的联系;构造动力学条件定量估测对岩石力学等学科新技术的依赖和相互促进的关系。据此,作者曾在内蒙古某金矿床的研究中强调要选择实用可行的技术方法,并要规划工作的层次和级序<sup>(3)</sup>。工作层次是:矿化、蚀变、变质建造、岩浆建造等涉及矿床物质组成的观察确认;反映物质来源和成矿条件的地球化学、稳定同位素以及温度、压力等的测算;最后归纳断裂构造等控矿构造要素并加以综合解释。本文所讨论的工作级序是指构造体系、构造型式、结构面分别对矿带、矿田、矿床、矿脉逐级控制作用的研究<sup>(4)</sup>。按上述工作层次和级序,方能在控矿构造应力场总结分析之后,进入成矿规律和构造控矿模式的论述。该项工作突现了数学地质、构造应力场模拟和历史地应力估测等技术方法在动力学分析、构造控矿模式演绎及成矿预测中的意义;是按观

察与探测、测试与分析、模拟与实验,信息处理的技术体系结构,将矿田构造研究方法作有序安排的成功实例。

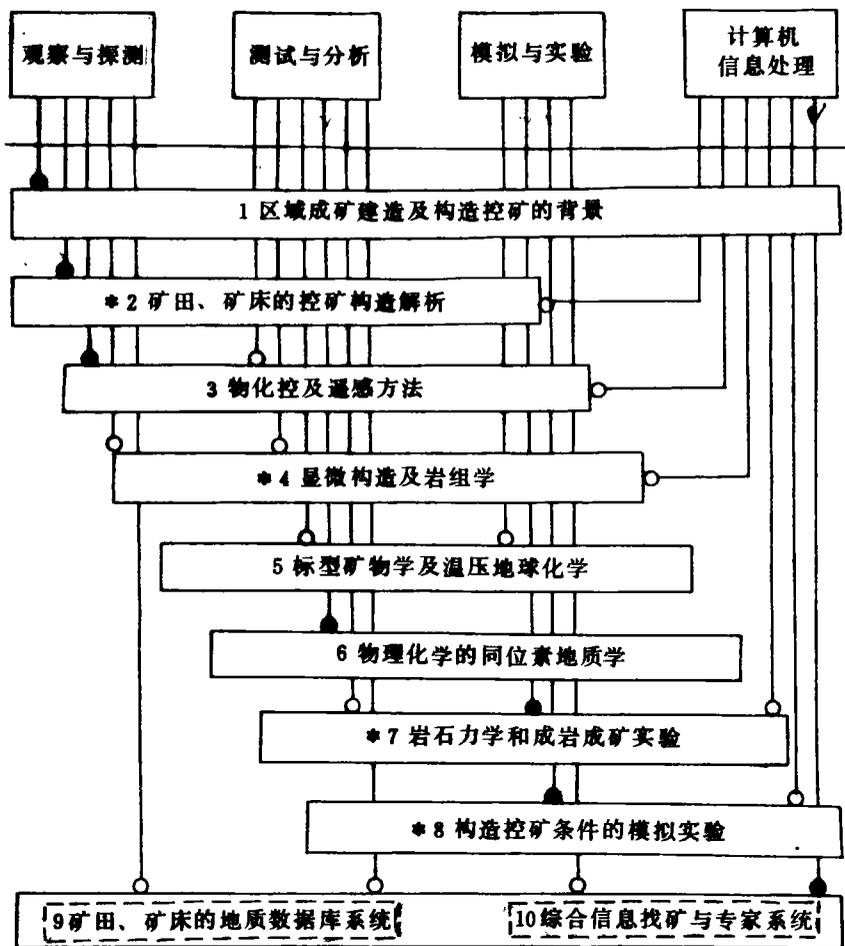


图 1 矿田构造研究技术方法的结构和工作程式

Fig. 1 The structure of technical methods and working process in the research of orefield tectonics

图中带星号的为基本工作方法,粗线与黑圆点的连结表示该项工作方法在技术体系中的大致归类

图 1 所表述的矿田构造学方法的技术结构分析,是由笔者初次提出,供同行讨论,以求在这一经济地质学学科中,将认识论和方法论统一,进而改进我们的工作。

## 1 观察与探测技术

归入观察与探测技术范畴的有区域成矿建造及构造控矿背景分析、矿田和矿床的控矿构造研究、物化探及遥感方法等。这是区域成矿大地构造研究、矿田和矿床构造研究在野外实施的主要工作内容,项目负责人应该全面管理。有关资料、数据采集后都要经过编图、整理和分析,要进行现场和室内的分析测试和信息处理,但要注意观察探测的准确性,以便取得

可靠的第一性资料,在此基础上初步确定成矿靶区和室内工作方案。

### 1.1 区域成矿建造及构造控矿的背景

研究构造控制成矿建造问题,是针对不同成因类型矿床分别进行的,可分出如下的相关研究内容或方法:

- (1) 固体沉积矿床的相与建造生成的区域和局部构造控制条件;
- (2) 液体、气体矿床生成及后期运移、储集的空间条件和驱动条件;
- (3) 岩浆矿床及岩体侵位的构造条件。主要是早期岩浆矿床、晚期岩浆矿床形成时物理化学环境的构造动力学条件,而对岩浆期后矿床则应比较其研究方法与水热矿床的异同;
- (4) 火山成因矿床中陆相及海底火山喷气、喷溢沉积的各类建造有关的层状、块状矿床,火山锥、火山颈相及次火山浅成、超浅成的筒状、脉状等矿床、矿体产出条件;
- (5) 接触交代矿床生成的适宜岩体、围岩的产状形态及矿体的生成部位;
- (6) 各类水热成因,包括低—中—高温、气成和热泉、冷泉成因固体矿床的矿源、流体、运移、停积条件的构造分析。

变质成因矿床未单列,已包括在上述成因类型的后期改造环境的研究之中。由于构造动力学条件作为成岩成矿主导因素日益受重视。如煤和石油成熟度与局部构造条件的联系;矿液由矿源层经热动力析出,水热成矿过程中的地震泵效应;暂列入水热成因矿床的韧性剪切带同构造蚀变岩型金矿,已被人划为典型的构造动热成因矿床等等。因而可预见将会出现一个全面的构造成矿系统方案。

超大型矿床和特定的矿集区是地壳中地球化学高度异常块体,究其成因则涉及地壳结构的复杂性和地幔组成不均一性,涉及地球圈层交换作用,也可能与地球形成的星子说有关。总之,矿床的地壳构造体制演化控制作用,源岩的大陆深部结构控制作用等前沿方向,都表明今后必须在地球动力学高度来分析、研究构造控矿的背景<sup>[5]</sup>。

### 1.2 矿田、矿床的构造控矿解析

大比例尺地质测量和立体地质制图是矿田构造研究的重要手段,在测量制图过程中解析构造控矿条件是其目的。除成矿建造决定了某些特定的方法,如变质岩区构造填图、岩浆岩区单元填图、火山岩区的填图之外,地质学家无一不是用构造学方法,去研究各类矿床以断裂、褶皱为主线的控矿构造。通常是先厘定控矿构造型式,分析其在控矿构造体系中的位置;进而追溯控矿构造的发展阶段,以此来划分对应的成矿期和成矿阶段;再鉴别导矿和储矿构造,讨论矿液产生和运移的原因和动力;最后分析成矿后构造对矿床的改造。

现举控矿构造各具特色的3个矿田为例,说明在构造几何学、运动学、动力学分析过程中,视研究对象不同,其方法差别很大。内蒙古金厂沟梁是中、低温水热脉型金矿床。晚太古宙变质岩中有燕山中、晚期次火山斑岩岩株侵入,金矿化与岩株侵位时的锥状、环状、放射状断裂有关。研究中对断裂、片理、片麻理、节理、擦痕线理进行统计计算,分析求解其力学性质、运动程式、主应力方位,在视为均一介质的岩石中,按剪破裂出现规律预测盲矿,海南岛石碌是火山沉积变质块状铁矿床<sup>[6]</sup>。加里东期在海盆凹陷中堆积了火山喷溢的块状铁矿体,经后期继承性下陷位于复向斜核部,在浅变质温压条件下发生流变而局部加厚。研究中用构造置换概念导出线理、面理、小褶皱不同类别序次的关系及一套测量统计方法,得出f类W型复式叠加褶皱(Ramsay, J. G., etc. 1976)流动构造控矿的结论;新疆喀拉通克是海西中期的晚期岩浆熔离铜镍矿床<sup>[7]</sup>。同构造期含矿杂岩体群侵位于早石炭槽地的中央断裂,分支

断裂控制各别含矿岩体及底部矿浆穿刺再侵位。通过大比例尺构造填图,采用有限应变测量计算出褶皱的三维尺寸,确定含矿杂岩体的大致底界。研究了岩体定位后围岩的平面层流褶皱继续变形,在已知和隐伏的岩体间发育的压力影状畸变褶皱,以此确定了隐伏含矿岩体,预测靶位和见矿深度。

### 1.3 物化探及遥感方法

使用物化探及遥感方法可以省时省力地得到覆盖区、隐伏区以及待勘查区中关于矿体、含矿地质体或控矿构造极有价值的信息。在区域成矿带的地质、物探、化探、遥感综合研究及靶区优选工作中,应将地质工作置于主导地位,要了解每种方法的适用条件及干扰因素,并要核计方法的工效和成本。

地球物理探矿技术有许多成熟的方法,高精度重力、磁法对铁、铬、块状铜镍矿等较适用;电法中的激发极化法,频谱激电法在硫化物金属矿勘查中不断革新,但要避免含碳地层、岩石等的干扰;人工地震法中的反射层析地震法又称地震 CT,采用不同网度可以探得不同尺度含矿地质体的密度界面和轮廓。

地球化学探矿方法中,无论是靶区的原生晕、次生晕剖面,还是单元素、组合元素的分散流化探扫面,都依赖于大量的室内测试与分析。工作中对脉型水热矿床矿体的勘查,要注意构造脉动成矿造成的不同期次矿化晕的复杂叠加。气体探矿和电提取技术在探寻隐伏矿和控矿断裂时,往往能取得较好效果。

遥感影像技术包括航空遥感的全色黑白片和彩色片摄影,卫星遥感的多波段 MSS 片和 TM 片用于找矿时又分为间接的和直接的方法。遥感解译判读出线性、环形等标志,可能对应着控矿断裂、线性矿化体,圆形的岩体、隐伏岩体、火山机构、火山岩盆等等,为区域找矿间接提供信息。直接的方法即是对测区已知含矿及蚀变地质体作地面调查提取光谱,或用影像确认上述地质体,再用密度分割技术或其他计算判别成图,对于发现新矿产地都有一定概率。

显然,上述各种技术方法中信息处理计算十分重要。物探资料的延拓处理可揭示地质体不同深度层次轮廓;化探资料的趋势面分析及其残差异常的识别,启发人们将构造活动与元素迁移聚散规律联系起来,逐渐形成了构造地球化学方法。

## 2 测试与分析技术

归于此类的技术方法有显微构造及岩组学、标型矿物学及温压地球化学、物理化学的同位素地质学等。这 3 种矿田构造研究中的常用技术,由于地质学的应用与理论研究的需要,都已形成了相对独立的专门学科。

### 2.1 显微构造及岩组学方法

这类方法用于解决控矿褶皱、断裂构造的成因,以及变形期次和涉及矿体定位有关的运动学、动力学问题。

岩组学使用费氏台、旋转针、X 光岩组、磁组构等方法,测试适宜矿物晶体的光轴、晶面、岩石中磁性矿物磁畴的方位,以统计岩石的组构优选情况。结合野外测量的构造数据,可判断在构造活动时岩石中矿物发生滑动或转动产生的优选组构的机理。在金厂沟梁金矿,对控矿断裂作 X 光岩组测量,并辅小构造解析,可求出成矿过程的运动程式,总结该区的动力学

历史;在海南石碌铁矿,用石英光轴组构印证小褶皱枢纽、交面线理 LB、拉伸线理 LA 所说明的岩石流动性。

显微构造及超微构造是矿物岩石学的分支,岩组学又是从其中衍生出来的。近年随着分析技术的提高,微区组分分析增强了温压地球化学和同位素年代学的应用能力。显微、超微构造技术用于矿田构造的内容很多。用于变形岩石的结构构造分析的微观现象有变形页理、变形纹、沙钟构造、核幔构造、亚组构;超微现象有晶格位错、层错等。用亚颗粒或位错的统计测量可估算古应力。次生包裹体沿显微破裂的嵌布及其形态特征可作应力取向分析<sup>[8]</sup>。应力作用下矿物形变与相变的联系近年也广泛用于动力成岩成矿研究中。

## 2.2 标型矿物学及温压地球化学方法

这两种方法是找矿勘探过程中从相关学科派生出来的。标型矿物学利用矿物结晶习性、热释光等物理化学表象来找矿,常配合元素化学晕使用。温压地球化学包括标型矿物温度计、压力计,常用的还有共结矿物对方法,以及包裹体测温压法等等。这些都是解决矿液流向、识别导矿运矿构造的有效方法,有关数据经非平衡态热力学计算、用耗散结构理论探讨,有助于开放体系成矿环境中动力成岩成矿理论的完善<sup>[9]</sup>。

## 2.3 同位素地质学方法

在长期地质研究积累的基础上,物理化学设定某些元素的同位素组合及稀土元素的配分与特定地质环境有关。在那里经地质演化过程的分馏或混熔作用,不稳定同位素蜕变过程重新开始,稳定同位素和稀土元素的组成和配分也被调整。这就是同位素年代学、稳定同位素地质学和稀土元素地质学的基本原理。由此可知,矿田构造学用同位素测年时要了解测定对象在成矿地质事件中的生成条件;而用稳定同位素、稀土元素含量判别矿源时,要参考其工作区和国内最新研究动态,以免落入与实际地质条件相悖的误区。

80年代引入的分阶段升温氩—氩法测年,适用于经历复杂地质事件地区的水热矿床研究,如在内蒙古色尔腾山韧性剪切带内十八顷壕金矿的实例<sup>①</sup>。

# 3 模拟与实验技术

矿田构造学采用模拟与实验技术,是为了获得岩石记录的历史应力和岩石现今物理力学性质,以求出成岩成矿过程的温度压力条件及控矿构造形成时的边界条件。通过正演拟合的成矿诸因素或是符合、或是修正人们的预想,能较好地支持成矿靶区预测,或能促进矿田构造研究更加深入。

## 3.1 岩石力学和成岩成矿实验

**3.1.1 成岩成矿实验** 包括水热高压釜和高温高压三轴仪技术,水热高压釜技术已积累了大量成果。吴学益(1988)对海南石碌铁矿围岩变质过程中,透辉石、透闪石岩生成与铁矿富化关系的实验有代表性。高温高压三轴仪技术已能模拟下地壳至上地幔环境。熊大和(1985)所做的碳酸盐岩脱碳、生成晶质石墨、相变成金刚石的连续实验过程也提供了极有意义的材料。由于三轴压机技术的发展,已有条件进行差异应力环境中矿物形变相变的实验。

**3.1.2 岩石力学实验** 主要服务于岩体工程设计,而实验得到的弹性模量、泊松比、抗压强

① 陈洪新、孟宪刚等,内蒙古中部韧性剪切带型金矿十八顷壕的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄特征及其地质意义,1995。

度、抗剪强度可用来判断岩石在地质应力环境中发生破裂的条件,或为进行模拟实验提供数据。现在用伺服控制试验机作3轴试验,得到的应力—应变全过程曲线更符合天然岩石的物理力学性状,考虑了围压作用下孔隙流体压力的实验,与水热矿床成矿期的破裂产生条件更趋接近。

声发射(AE)法历史地应力测量的机理是,岩石内部先期应力造成有微裂隙,当加载试验达到并超过先期应力值时,则微裂隙发生扩容并快速释放弹性波,即能获得先期应力数值。抹录不净效应的发现使我国用该方法估测多期历史地应力进入一个新水平<sup>[10]</sup>。笔者在内蒙古金厂沟梁金矿的构造应力场与矿化蚀变演化的定量化研究中,就是借助于该方法完成的。地质历史应力和现今应力测算方法有10余种,其测试对象、量值表示都很不相同,尤其是各种方法的机制、原理不同,使测量结果很难对比,这有待用显微观察和实验来判定。

### 3.2 控矿构造条件的模拟实验

包括泥巴模拟、光弹模拟、数学力学的有限单元法模拟等。通过地质调查和实验获得模拟所需要的边界条件,在模拟实验中再经多次拟合,得出较符合矿田、矿床成矿地质实际的结果,可以用来修正某些地质调查中认识的偏差,还可用相似对比法在模型中找到构造预测成矿地区。金厂沟梁金矿通过弹性有限元模型得到主应力矢量图、最大主应力等值线图、最小主应力等值线图、差应力等值线图,并据此进行了井田范围的盲矿预测。

## 4 计算机信息处理技术

计算机技术的应用和发展,促进了地质学领域专门技术方法的进步。如前述的物探、化探、遥感技术以及数学力学模拟实验即是。矿田构造研究方法的全面进步,势必要求更普遍的使用计算机信息处理技术。

### 4.1 地质数据库系统

以地质力学研究所地质数据库程序包的应用为例,它可以完成从构造数据的矢量统计、转换、作图,到多因子相关分析、趋势分析等全部数学地质的计算和绘图功能,也可以进行弹性、粘弹性及非线性大变形的二维及三维有限单元法的大容量计算和绘图;还可将有关模型引入时间过程作动态演示,绘制分阶段变化图,并可做金矿的克立格动态模型等特殊条件的操作计算。

### 4.2 综合信息找矿与地质勘查的专家系统

运用统计数学逻辑程序或采用模糊数学灰色系统,将研究区划分为若干单元或针对某目的范围进行信息处理,求出有望地区或作出决策意见。赵鹏大、王世称(1989)年已在若干地区进行区域地质找矿工作中做了有意义的实践。

从以上4大技术体系划分的10类工作方法概述可以看出,矿田构造研究方法手段是多样的,这是因为它的研究对象——成矿条件是复杂的。虽然我们重点研究的是控矿构造,但控矿构造本身是在热力和应力作用下产生,并且又对热流场、应力场和物质场造成新的扰动。因此研究矿田高能场中的能量流、物质流规律以寻找矿体定位区,就必然要求以综合场论指导研究工作的实施步骤,并用以对诸方法的成果进行归纳评判。体验到这点,我们对图1列出的技术方法结构网络分析的同时,还要重视诸方法间的联系,并要在工作中对技术方法作统一安排。对矿田构造工作者而言,使用方法是完成了找矿任务,所以要对现行各种

方法手段加以鉴定和评价,使之不断改进和完善。

本文有关内容曾在 1993 年 11 月地质矿产部矿田构造培训班中讲述,并在与各地同仁的研讨交流中得到启发,特此致谢。

## 参 考 文 献

- 1 翟裕生、林新多,矿田构造学。北京:地质出版社,1993,1—214。
- 2 国家自然科学基金委员会,自然科学学科发展战略研究报告之一:地质科学,科技导报,1992(4),28—32。
- 3 王建平,刘永山等,内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿分析。北京:地质出版社,1992,1—124。
- 4 刘迅、孙宝珊,关于构造体系控矿的若干问题。地质力学论丛(6),北京:科学出版社,1982,77—78。
- 5 李晓波,成矿作用与地球动力学,当代地球科学前沿。武汉:中国地质大学出版社,1993,49—54。
- 6 杨开庆、董法先等,海南石碌矿区铁、金、铜、钴矿构造动力成矿作用的研究。中国地质科学院地质力学研究所所刊(11),北京:地质出版社,1988,83—152。
- 7 马天林、王建平等,新疆喀拉通克成矿带控矿构造。北京:地质出版社,1993,1—116。
- 8 王桂兰,流体包裹体群态组合与构造应力场关系。中国地质科学院地质力学研究所所刊(12),北京:地质出版社,1989,229—234。
- 9 张招崇、李兆乃,耗散结构理论及其在火成岩岩石学中的意义,岩石矿物学杂志,1991,10(3),221—227。
- 10 丁原辰、张大伦,声发射抹录不净现象在地应力测量中的应用。岩石力学与工程学报,1991,10(4),313—326。

## TECHNICAL OF METHODOLOGY IN THE ORE FIELD TECTONICS

Wang Jianping

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

**Abstract** The author describes the technical structure of the methodology in the Ore field Tectonics researches in terms of the four technical systems in modern sciences, and classifies them as: observation and detection technique, experimental technique, modeling technique, and information processing technique. Such a sequence of technology reference to the characters of the ten research methods is agreeable to the normal order in practical research work. In addition, a brief review of each of the techniques applied is made, and some new applicable techniques introduced.

**Key words** orefield tectonics, technical systems, textural analysis.

## 作 者 简 介

王建平,男,1939年生,1964年毕业于北京大学地质地理系构造地质专业,研究员。地质力学专业委员会秘书长,主要从事区域地质和矿田构造研究。通讯地址:北京市海淀区中央民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081。