

文章编号: 0258-7106 (2001) 04-0301-06

关于成矿参数临界转换的探讨*

翟裕生¹ 邓 军¹ 丁式江² 彭润民¹ 王建平¹

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 海南省地质调查院, 海南 海口 570206)

摘 要 在成矿过程中, 普遍存在成矿参数的临界转换现象。在制约成矿临界转换的参数和多种形式中, 构造动力转换可能起着根本的作用。文章以山东焦家、阜山等矿床为例, 列举剪切带构造中的临界转换现象。又以火山爆发和地震为例, 说明构造动力体制转换诱发的突发地质事件及伴随的成矿作用。在说明构造动力转换的多重尺度后, 重点论述了整体构造背景下的局部转换(例如总体挤压背景下的局部拉张、总体拉张盆地中的局部封闭)是一种常见的矿源-运输-汇聚结构。在构造动力体制转换带动下, 多种参数的联动转换是形成大型矿床的一种机制。

关键词 成矿作用 临界转换 构造动力体制 韧-脆性剪切带 剥离断层 金矿床

中图分类号: P611

文献标识码: A

深入探讨矿床成因对认识矿床的形成和分布规律并进而指导找矿预测具有重要意义, 因而是矿床学中持久不衰的一个研究领域。其中, 成矿参数的临界转换对成矿的控制更是引人注目, 并不断有新的发现。例如, 地壳浅表的温度、压力、 E_h 、pH 等参数的临界转换是很多热液矿床形成的基本因素, 并可据此划分出高温、中温和低温等热液矿床。火成岩体边缘和地层岩性界面, 由于不同岩石间物理化学性质的差异, 造成物理和化学条件的突变, 因而成为矿液发生水-岩反应并沉淀矿石的有利场所。再如, 宏观的板块边缘构造带, 常是壳-幔物质交换、流体作用、变质作用强烈的地带, 有利于构造、热、流体、化学反应的耦合, 导致形成多种成矿系统。在海-陆转换带, 由于海、陆环境的异相差异, 形成地球物理、地球化学、生物化学的急变带, 使来自大陆和海洋的成矿物质在海盆边缘成矿。此外, 古气候中干旱与潮湿的转换、寒冷与炎热的转换, 都会导致风化作用、沉积作用发生变异, 造成表生物物质分异过程中的突变因素, 并诱发有用矿物质的大量堆积。类似的情况还有很多(孙启祯, 2001), 在此不再详细列举。

这些不同环境、不同尺度、不同形式的成矿参数的临界转换, 常是很多矿床形成的基本条件。下面以胶东金矿为例加以具体说明, 并就构造动力转换

与突发地质事件、构造动力转换的多重尺度、整体背景下的局部异常转换、多参数的联动转换与大矿形成等问题提出一些初步认识。

1 含金剪切带的临界转换与成矿

对山东焦家、阜山等矿床的研究表明(丁式江, 1998), 在该区绿岩型金矿的形成过程中出现过一系列临界转换状态, 包括区域构造应力场转换、韧-脆性变形域转换、金矿床定位于岩相转换部位(两种岩相的接触带)、金矿体产于应变强弱的转换部位等。

1.1 区域构造应力场转换

根据焦家金矿田中节理、磁组构等分析, 成矿前期与成矿主期的应力场有大的转变, 这与所处区域板块的应力特征是一致的。胶东金矿区主成矿期发生于 135 ~ 100 Ma(苗来成等, 1999)。在此前的侏罗纪(208 ~ 135 Ma), Izanagi 板块向 NWW 向挤压, 由于边界效应, 郯庐断裂带发生左旋平移, 导致胶北地体深层次活化, 在构造薄弱带发生剪切深熔, 使得地壳增厚、花岗岩浆活动显著。约从 135 Ma 开始, 在印-澳板块向北推挤作用影响下, 本区转为板内拉张带(万天丰等, 1996), 由于岩体上浮力及伸展作用的联合效应, 原来处在韧性剪切域中的层间滑动剪切系统, 抬升到脆韧性转折域, 断裂由压剪转为张

* 本文得到国土资源部地质调查项目(编号: K1.4-1-5)和国家地质调查局项目(编号: 200110200069)的联合资助

第一作者简介 翟裕生, 男, 1930 年生, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 从事矿床学、矿田构造和区域成矿学的教学和研究工作。

收稿日期 2001-10-15; 改回日期 2001-10-19; 李 岩编辑。

剪,成矿流体因类似真空泵吸作用而进入断裂带,造成含矿热液的大量释放,并在水-岩反应过程中 Au 局部浓集,形成了胶东金矿集区。

1.2 空间上的韧-脆性过渡域

剪切带型金矿常产在脆-韧性过渡域。在韧性域,由于岩性较为致密,孔隙度较低,往往不宜于流体的渗透与运移;而较高的温压条件也不利于络合物的分解及金属矿物的沉淀。而在韧-脆性过渡域,微裂隙大量产生,扩容空间增大,易于流体的运移与渗透,并且温、压的降低有利于络合物的分解、淀积。金成矿温度一般在 $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$,这一温度范围正好处在韧-脆性过渡域中。这一特征在显微尺度上也是存在的(邓军等,1996)。

1.3 断裂的临界转换现象

含矿断裂常发生在花岗岩与变质岩两种岩相的接触带上,金矿体定位于断裂带的分支、复合、转折处,而富矿体则多位于断面波状起伏的拐点处。对

焦家矿田断裂分布特征的研究表明,在 $0.25 \sim 5 \text{ km}$ 尺度范围内,断裂分布具有分形特征。含矿区段断层的分维较大,一般 >1.30 ,而非含矿地段的分维值较小,一般小于 1.20 ,但要形成巨大金属量的堆积,成矿断裂系统需处在临界分维状态。对焦家金矿田断裂构造岩的有限应变分析表明,过大或过小的应变温度都不利于形成良好的金矿化,如焦家金矿体部位的应变强度介于 $0.45 \sim 0.7$ 之间,这一区间正是强变形与弱变形的转换区带。石英动态重结晶估算的差应力值的大小与矿化关系也显示,矿体位于差应力的极大与极小的过渡部位。

1.4 物化探异常的拐点现象

顾留成等(1996)注意到胶东金矿床多分布在重力场由低到高的梯度带中,重力等值线拐弯或凹进凸出部位。多数矿区的化探异常也具有上述特征。

图1表示了山东阜山金矿床的成矿参数临界转换现象。上述“临界转换”现象可能在多种矿床的形

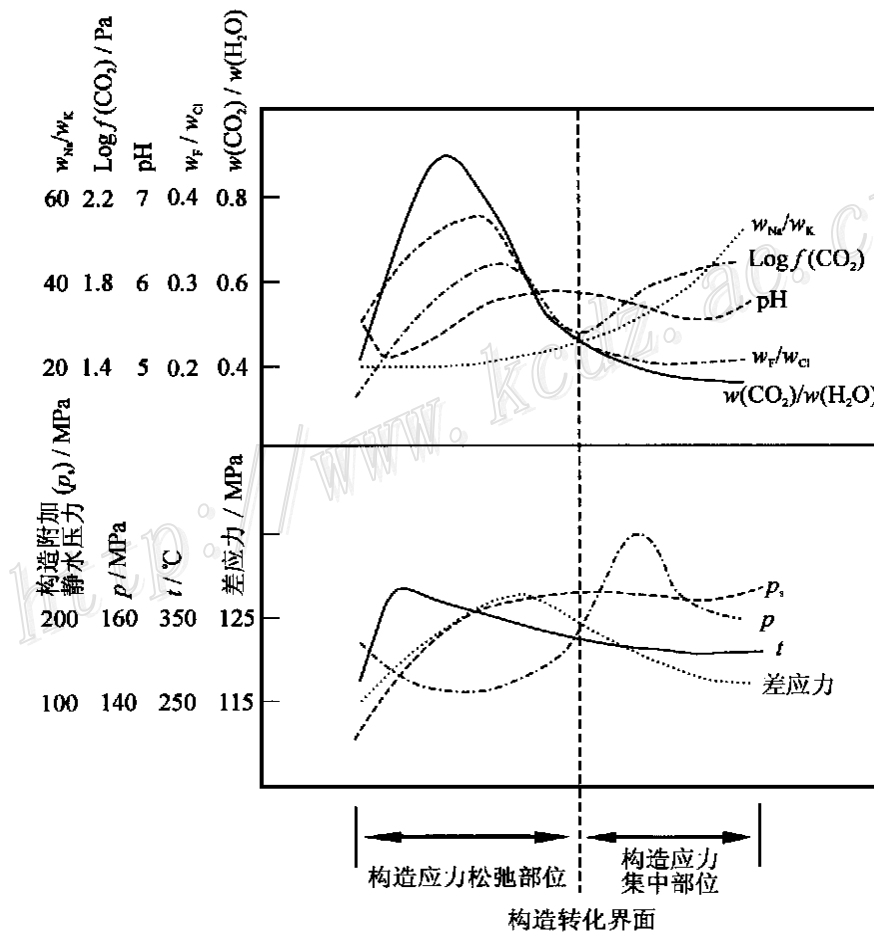


图1 山东阜山金矿床成矿物理化学参数临界转换图(据吕古贤等,2001,私人交流)

Fig. 1 Critical transition of ore-forming physical-chemical parameters of the Fushan gold deposit in Shandong Province

成过程中带有普遍性。这种成矿参数在时空上的临界转换处,常是各种物理化学作用的急变带,在此形成地球物理、地球化学障,使矿液物理化学性质突变而导致矿质迅速大量沉淀。成矿作用属于非线性系统,在相变的临界点上,系统的控制参数间关联长度变为无限大,形成巨量的金属堆积。

2 构造动力体制转换与突发地质事件及成矿

对很多矿床的成矿条件和作用过程的研究(翟裕生等,1993,1997)显示,在制约成矿临界转换的多种参数中,构造应力场的转换可能起着根本的作用。这是因为,构造不仅仅是局部的控矿因素,它还能从大区域上控制或影响各类地质作用(岩浆活动、沉积作用、流体作用、变质作用等)。构造动力转换也常能诱发突发地质事件,而这些突发事件又能构成有利成矿的环境和条件。

火山爆发是岩浆与构造联动作用的结果,深部岩浆上涌引发构造动力的转变,形成岩浆流动与喷发(溢)通道。火山活动强化了壳幔作用,导致成矿物质与能量的大量转换,这是形成矿床的重要因素。与火山有关的矿床类型有火山岩浆矿床、火山(次火山)热液矿床、火山沉积矿床等,这些矿床中蕴藏着多种多样的矿产资源。火山爆发常不是个体行为,而是沿大断裂带或断裂结点发生的区域性灾变,常形成以火山成矿为主导的金属-非金属矿集区。

构造地震一般由一定强度和深度的断层引起,在地震过程中,有一定深度的断层切过不同的地层岩相,破坏了原来处在平衡态的地下流体网络,导致不同来源、不同性质流体之间的混合以及大量流体的上涌喷流。断裂作用还促使处于封闭状态的高压流体的减压沸腾。上述流体的这些突然变化造成流体内部组分之间平衡态的破坏,出现新的物理化学作用,并可诱发某些物质组分的大量运移或堆积。而地震造成的短时间突发性破坏系统(空腔、碎裂岩带等)为极低负压区,具有很强的抽吸流体的能力,构成矿石堆积的合适空间。

在火山爆发和地震的作用过程中,原有的区域物理场受到显著破坏和改造,强大的地壳能量被突然释放,造成构造-热异常带,使处在其中的各种含矿流体及成矿物质被激发活跃起来,大量地快速运

动,流体内部也发生明显的相转变,这就为某些成矿物质由分散态向浓集态转变创造了条件。

不同构造动力体制决定了地球物质运动的基本表现形式,而大地构造和大型构造的发生与演变控制着与其有关的沉积、岩浆、变质、流体等作用及相关的成矿作用。因此翟裕生等(1999)在关于成矿系统大类的划分中以不同构造动力体制作为划分成矿系统大类的依据,共划分出伸展、挤压、走滑、隆升、沉降、大型剪切及陨石撞击等几类与构造体制有关的成矿系统。而各类构造体制内部时空转换突变地段则成为最有利的成矿场所。

3 构造动力体制转换的多重尺度

构造体制转换是自然界中的普遍现象,表现为不同环境和不同的尺度,显示出自相似性。

全球尺度的构造体制转换 古陆开合-散聚是构造体制转换的一种形式,据 M. E. Barley (1992)统计,古大陆会合的末期到裂解初期这个转换时期是大陆上成矿的高峰期。在地史上这样的时期有3个:①距今 2 000 ~ 1 800 Ma:广阔的中元古大陆产有基鲁那铁矿、奥林匹克坝(Olympic Dam) Cu-Au-REE 矿和含 Ti-V-Fe 矿斜长岩等;②距今 1 000 ~ 800 Ma:新元古代超大陆上发育碎屑岩中铜矿和风化壳中铀矿等;③距今 400 ~ 300 Ma:泛大陆上以沉积岩中的金属硫化物矿床最发育,包括 MVT(密西西比河谷型) Pb-Zn 矿和碎屑岩中 Cu 及 Pb-Zn 矿等。古大陆开合对区域成矿特征的制约是值得重视的研究课题。

区域尺度的构造体制转换 如前所述,侏罗纪与白垩纪时华北陆块发生构造体制转换,即由 NW-SE 向挤压转为 NE-SW 向挤压,并随之产生岩浆活动与成矿作用。再有,中国华南地区大规模的花岗岩类活动及 W、Sn、REE 成矿也与华南成熟地壳受燕山中晚期断裂重熔花岗岩浆作用密切相关。研究表明:这种断裂重熔是在近 EW 向构造体制转为 NE-NNE 剪切断裂过程的晚期发生的,其中-新生代区域构造应力场转换与华北地区的构造转换机制是一致的(万天丰等,1996)。

矿田-矿床尺度的构造转换 含矿剪切带中张剪断裂发生时的矿石堆积、含矿褶皱,如背斜脊部由挤压向拉张的转换时段,因虹吸作用导致的矿液注入与矿质堆积,均属此种尺度。有关矿田构造著作

中介绍过多种实例(翟裕生等,1993),在此暂不述及。

露头尺度的构造转换 岩层内部的引张裂隙发生时,溶有岩层自身物质的流体迅速进入裂隙中,并沉淀出过饱和物质形成小型脉体(阿尔卑斯型脉)。例如石英砂岩层中的水晶脉,碳酸盐岩层中的冰洲石脉。

不仅构造转换具有多重尺度,温度、压力、深度、 $f(\text{O}_2)$ 等控矿参数及其转换也具有多种尺度,限于篇幅,在此不再赘述。

4 整体背景下的局部异常转换

较大尺度的构造体系中包含有多种次一级的构造,例如,一个褶皱体系中就含有背斜、向斜及各种形式的断层和裂隙。在构造动力体制的临界转换过程中,有时大尺度构造的整体动力性质与次级构造的局部动力性质不一致,如总体为挤压的物理场中的局部拉张部位,这常构成矿床形成的有利条件。

在挤压或剪切构造场中,常伴随有次级的局部拉张或剪张构造,形成减压扩容带,导致矿液的集中和矿石堆积。例如,韧性剪切带中的局部脆性拉伸部位的金矿体(如胶东)、在压剪环境中就位的斜长岩岩体中沿剪张裂隙贯入的 V-Ti 磁铁矿矿体(承德大庙)等。

在拉张构造场(如裂谷)中,其内封闭或半封闭的次级盆地中 SEDEX(沉积喷流)型矿床或 VHMS(火山岩型块状硫化物)型矿床的堆积是又一个实例,例如,南秦岭中泥盆世西成碳酸盐岩台地中的厂坝—李家沟铅-锌矿床就位于该盆地西侧的次级洼地中(王集磊等,1996)。

再从更大尺度看,在大洋板块向大陆俯冲带的挤压构造动力环境下,由于局部应力场转换,由陡倾斜板片和缓平板片间裂开造成的板片窗(slab window),是一种局部的剪张构造,沿此断裂通道有深部岩浆向上侵位,并可能构成相应的岩浆-热液成矿系统(R. Kerrich, 2000)。

上述总体动力环境下的局部动力异常,从成矿的角度看,大体相当于矿源及含矿流体运移大背景下的局部矿石就位场所,即矿源、运移、储聚三者和谐统一的一种常见的机制。

5 成矿多参数的联动转换与大矿形成

成矿是在参数耦合的条件下发生的。多种有利参数耦合得越好,参数越齐全,即有利因素完备且高度耦合,是形成大矿、超大型矿的基本原因(翟裕生等,1997)。

在诸成矿参数中,构造动力转换对多类矿床来说,可能是起主导作用的参数。在构造动力体制转换的带动下,控矿多参数的联动转换可能是形成大矿的一种机制。现以变质核杂岩的构造-流体成矿系统为例加以说明。

在伸展构造动力作用下产生的变质核杂岩及剥离断层是促成临界转换的决定因素。伸展作用导致的地壳变薄和地幔上隆造成了变质核杂岩区的高地热梯度的高热流环境,有利于地壳下部岩石的混合岩化和重熔,使以壳源为主的中酸性岩浆活动常发育于变质核杂岩的中心部位,为成矿元素的迁移提供了热能。

下盘岩石在地壳深处以韧性变形为主,形成网络状韧性剪切带,使基底岩系或侵入其中的基性岩糜棱岩化,提供部分变质热液,加上岩浆来源的热液,形成还原环境下的热液循环系统。在构造泵吸作用下,热液淬取了分散在基岩中的成矿组分,成为含矿热液。上盘高角度正断层系和脆性破裂系为地下水的深循环提供了通道,异常的热梯度为流体循环提供了热能,从而形成一个与大气降水体系相连的氧化环境下的水热循环系统(见图2)。剥离断层构成了一个构造、流体和 E_h 值都呈显著差异的临界转换带,两套不同性质的热水循环系统在剥离断层附近交汇,形成很好的氧化-还原带,成为矿质沉淀的地球化学有利地段。

6 结论与建议

成矿参数的临界转换,尤其是构造动力体制转换所带动的多参数联动转换对大规模成矿的意义,是一个值得深入研究的问题。建议运用现代地学的观测和实验手段,以典型成矿区带为重点,深入研究构造体制转换的形式与机制及其成矿效应,以获得规律性的认识。

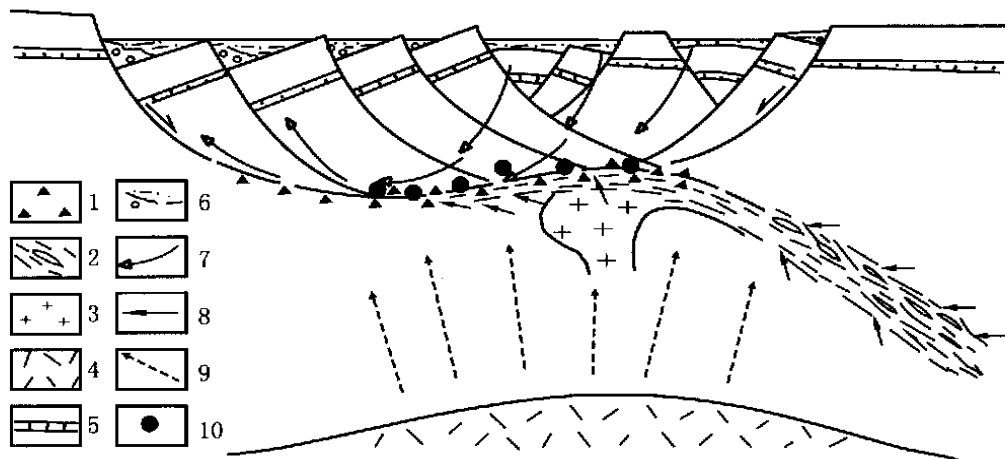


图2 变质核杂岩构造流体系统示意图

1—碎裂岩带; 2—糜棱岩化带; 3—同构造花岗岩; 4—岩石圈地幔; 5—沉积岩层; 6—表生堆积物; 7—上盘流体系统; 8—下盘变质热液流体系统; 9—幔源热及气液系统; 10—Cu、Pb、Zn、Au矿床

Fig. 2 Tectono-fluid system of metamorphic core complex

建议在找矿预测和各类地质异常评价工作中,引入临界转换成矿观念。在研究各类控矿要素时,应特别注意查找可能发生临界转换的时空部位,包括对三维空间中物理场的转换特征的定量分析,以帮助我们深刻理解矿床就位环境,从而使预测工作取得较高的成效。

致谢 本文写作过程中,曾与吕古贤同志交换意见,并承蒙吕古贤、郭涛同志提供有关阜山金矿的研究成果,在此一并表示感谢。

宋叔和先生是德高望重的著名地质学家和矿床学家,他对中国地质大学矿物、岩石、矿床学科的建设一直给予关心和支持,许多同志经常得到他的殷切教诲,并从中获益匪浅。值此宋先生从事地质工作65年之际,谨以此文表示对他诚挚的谢意和衷心的祝福。

参考文献

邓军,徐守礼,方云,等.1996.胶东西北部断裂构造体系及金成矿动力学[M].北京:地质出版社.

丁式江.1998.绿岩型金矿综合地质异常研究——以胶东焦家金矿为例[D].[博士学位].北京:中国地质大学.指导教师:翟裕生.1~98.

顾留成,万国普,段林祥,等.1996.胶东破碎带蚀变岩型金矿床的地质-地球物理-地球化学模型及评价指标研究[M].济南:山东科学技术出版社.178~193.

苗天成,罗镇宽,关康,等.1997.山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石SHRIMP研究及其意义[J].中国科学(D辑),27(3):207~213.

孙启祯.2001.边缘成矿概论[M].北京:地质出版社.1~158.

万天丰,朱鸿.1996.中国及邻区各地块中新世代运动学特征与构造应力场[A].见:国家计委国土司、地矿部科技司编.地质科学研究论文集——献给第三十届国际地质大会[C].北京:中国经济出版社.119~124.

王集磊,何伯堉,李健中,等.1996.中国秦岭型铅-锌矿床[M].北京:地质出版社.69~77.

翟裕生,林新多.1993.矿田构造学[M].北京:地质出版社.

翟裕生,张湖,宋鸿林,等.1997.大型构造与超大型矿床[M].北京:地质出版社.150~151.

翟裕生,邓军,李晓波.1999.区域成矿学[M].北京:地质出版社.

Barley M E and Groves D I. 1992. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time[J]. Geol., 20: 291~294.

Kerrick R. 2000. The characteristics, origins and dynamic setting of supergiant gold metallogenic provinces[J]. Sci. in China (series D), 43 (supplement): 1~81.

Discussion on Critical Transition of Ore-forming Parameters (Factors)

Zhai Yusheng¹, Deng Jun¹, Ding Shijiang², Peng Runmin¹, Wang Jianping¹

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Hainan Geological Survey, Haikou 570206, Hainan, China)

Abstract

Critical transition of ore-forming parameters is one of the main topics in the metallogenic researches. Among the parameters that control the ore-forming critical transition, tectonic dynamic transformation seems to play the most important role. Taking the Jiaojia and the Fushan gold ore deposits as examples, this paper enumerates some critical transforming phenomena in gold-bearing shear zones, and also exemplifies incident geological events and accompanying mineralization induced by the transition of tectonic dynamic mechanism through volcanic explosion and earthquake. Following an illustration of the multi-scale nature of tectonic dynamic transition, this paper stresses that local transition under a certain tectonic setting is a common ore source-transportation-enrichment structure (e.g. local extension under compressional tectonic setting, local closing in an extensional basin). Coupling transitions of many ore-forming parameters induced by the tectonic dynamic transition is one of the mechanisms forming large-size ore deposits.

Key words: ore formation, critical transition, tectonic dynamic mechanism, ductile-brittle shear zone, detachment fault, gold ore deposit

国际矿床地质学会和经济地质学家学会 联合学术会议在波兰举行

国际矿床地质学会 (SGA) 和经济地质学家学会 (SEG) 联合学术会议于 2001 年 8 月 26—29 日在波兰的克拉科夫市举行。该会承办单位为克拉科夫矿冶大学 (UMM, 波兰文称 AGH)。与会者来自美国、英国、爱尔兰、加拿大、澳大利亚、俄罗斯、德国、中国、法国、西班牙、捷克、乌克兰、阿根廷、南非、埃及等 50 余个国家和地区, 约 350 人参加。中国赴会者有毛景文、宋学信、盛继福和彭渤等 4 人, 他们均做了学术演讲。

会议的科学议程包括: ① 大会报告 4 个, 即 21 世纪的矿业: 艰难爬坡与适者生存 (A. H. Meldrum); 金属矿床: 构造成因与矿化控制 (V. W. Bogacz); 沉积岩为主岩的层状铜矿床、其他层控贱金属矿床及盆地卤水和(或)蒸发岩、盐构造和盐动态的重要性 (R. Kirkham); 中非加丹加矿带“巨角砾岩”为主岩的 Cu-Co 矿床的勘查新准则 (M. Wendorff)。② 分会报告 214 个, 涉及 15 个专题: 有机质在矿床形成中的作用及相关环境问题; 西里西亚—克拉科夫铅锌矿床闪锌矿和白铁矿包裹体中的有机质; 铅锌矿床; 大型盆容铅锌矿物省的地球动力学背景; 层状铜矿的形成与演化; 火山成因块状硫化物矿床的形式及其全球对比; 与长英质岩浆作用共生的成矿系统; 巴尔干—喀尔巴阡岩浆热液 Cu-Au-(Mo-Pb-Zn-Ag) 成矿系统 (兼论特提斯地球动力带); 与镁铁质和超镁铁质岩共生的矿床; 铂族元素矿床成因——献给从事铂族矿床研究 40 年的 E. F. Stumpfl 教授; 金和贵金属矿床; 影响矿床的变质作用; 工业矿物矿床; 矿业的环境问题; 矿床评价。③ 研讨班 1 个: 东北亚的构造与成矿学。④ 论文展讲 59 个。⑤ 会前地质旅行 2 条: 波兰维利斯卡岩盐矿床; 吉尔吉斯 Altai 地区金矿。⑥ 会后地质旅行 4 条: 波兰 Lubin—Glogow 地区铜银矿床 (含铜页岩型); 波兰与古生界基底呈超覆接触的介壳灰岩中的铅锌矿床 (密西西比河谷型); 波兰克拉科夫地区古生代和中生代介壳灰岩中的铅锌矿床 (密西西比河谷型); 乌克兰东喀尔巴阡山的矿床。

会议期间还召开了 SGA 理事会和 SGA 会员大会。大会听取和通过了会长的工作报告和司库的财政报告, 讨论和通过了 2002—2005 年学会理事会候选人名单, 决定第七届 SGA 双年会于 2003 年在希腊雅典举行。此外, 还召开了 SEG 国家通讯员会议和地球动力学与矿床演化项目指导委员会会议。

(中国地质科学院矿产资源研究所 宋学信 供稿)