胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海　张景鑫　叶素芝　著



地震出版社

胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海　张景鑫　叶素芝 著

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书是地质矿产部金矿专项科研项目成果,是一部运用同位素年代学理论,以 Rb-Sr 测年方法全面地研究胶东金矿同位素年龄的著作。作者以严谨的科学态度,对胶东几个成矿带上有代表性的矿床进行了剖析,首次在乳山金矿完成了一次矿化几个矿化阶段的同位素年龄测定工作,提出了"主矿化期同位素年龄"的概念;首次采用了蚀变矿物组合样品,成功地测定了一批 Rb-Sr 等时线年龄数据;首次用一系列($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比,给胶东金矿物质来源提供了依据;对胶东玲珑花岗岩、昆俞山花岗岩提出了自己的见解。

研究成果对胶东金矿在时间域上的演化,对成矿理论的研究及找矿都将起到颇有价值的作用,为 Rb-Sr 测年方法的应用开拓了新的视野,注入了新的活力。

本书可供从事专业地质工作人员、教学和科研人员阅读、参考。

胶东金矿同位素年龄的厘定

张振海　张景鑫　叶素芝　著

责任编辑:李洪杰

*

地 震 出 版 社 出版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092　1/16　3.625 印张　2 插页　90 千字

1991 年 3 月第一版　1994 年 3 月第一次印刷

印数:001—500

ISBN 7-5028-1121-4/P·679

(1514) 定价:5.80 元

前　言

胶东是我国最大的产金区，具有悠久的采金历史，黄金产量居全国之冠，地质科研程度亦属全国前列。

胶东地区系统的金矿地质科研工作始于1949年之后，曾有大批的科研单位、高等院校和野外地质队在该地区从不同学科对基础地质、金矿成因及成矿预测等方面进行了不断深入的研究，其科研成果、金矿专著之多堪称全国之最。

胶东同位素地质年代学的工作是从1963年开始的。1964年在《地质科学》见正式报导，到1988年陆续有大量同位素年龄数据公开发表①。这期间，同位素年龄集中于解决地层和侵入体的变质或侵位时代问题。所用方法，1980年以前以K-Ar体积法为主；1980年之后完善了U-Th-Pb法和Rb-Sr等方法。对于众多的金矿床成矿时代，在1987年之前仅以与矿床成因有关的侵入体形成时代加以推论而得出；1988年才见用蚀变矿物绢云母来测定金矿床矿化年龄的数据报导。

作者自1989年开始从事于金矿化同位素年代学的研究工作，当年正式提交了从金矿床蚀变围岩中选出的蚀变绢云母用Rb-Sr等时线方法所测出的一批年龄数据。但是这些工作是初步的，对金矿床蚀变围岩的研究及其如何挑选合适的年龄样品研究有待深入。因为当时认为只有挑出纯的蚀变绢云母才能进行年龄测定研究。拘于此，牵联到样品挑选难度大以及成本高、没有专项经费等因素，影响了研究工作的深入进行。

为了使我国金属矿床成矿时代测定工作更直接、更可行、更科学化；为了使我国胶东这个研究程度最高的产金区的科研工作更加系统和深入，使成矿过程在时间上定量化。地质矿产部特在1990年设立了有关金矿同位素年龄厘定的地质科研工作项目。

岩金是我国金矿床的主要类型。热液矿床成了金矿的最主要的成因类型而引起注重研究。对金矿床围岩蚀变的研究不仅具有探讨金矿成因的理论意义而且也具有经济意义，所以一直是矿床学者必不可少的工作取向。各学派对围岩蚀变进行了大量的研究工作之后，所论及的观点虽稍有不同，但基本是一致的，归纳起来主要是：

其一：要形成原生金矿必须经过元素活化—运移—富集沉淀的成矿过程。在这个多次反复进行的过程中，都需要强烈的构造岩浆活动及蚀变作用。因此认为，金矿的形成是个多作用、多阶段、多期次、多成因的长期复杂的继承演化的结果。

其二：围岩蚀变是热液矿床中普遍存在的现象。研究围岩蚀变的特征，正确划分蚀变围岩类型，划定围岩蚀变期次、顺序、作用过程以及确定蚀变过程中成分的变迁等，对追溯成矿过程和寻找矿床都是十分重要的。

其三：围岩蚀变异常强烈是构造岩蚀变的特征。通常都发育有钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化等，且有一定的分带规律。从主裂面往外，动力变质作用

---

①中国地质学会，第三届、第四届全国同位素年代学，同位素地球化学学术讨论会论文（摘要）汇编，1986，1989。

和热液蚀变作用逐渐减弱，在黄铁绢英岩化带大都是金矿作用最强的部分，从而形成富的工业矿体。

借鉴上述观点，我们在广泛的地质考察、研究的基础上，在胶东诸多矿化带中选出具有代表性的矿床重点作了剖析及取样、室内鉴定、选样、分离、测试。以 Rb-Sr 等时线的方法获取其同位素地质年龄。在取样、选样中，注意对蚀变带和蚀变矿物的研究，如多次蚀变的叠加、期次、矿物组合、共生规律；注意 Rb-Sr 封闭体系的分析和辨证处理；注意不同组分的试样元素在分离时实验条件的变化；样品测试中新技术的应用和等时线的拟合等等。

本研究测定的一系列同位素年龄，对胶东金矿在成矿过程中时间域上的演化提出了如下见解：胶东金矿多形成于燕山期，最早矿化发生在 1.88 亿年左右，形成以灵山沟金矿为代表的金矿床；之后，燕山期活动进入高潮，含金热液到处穿插，在约 0.8 亿年内，处于特定的环境中先后形成了乳山、玲珑、栖霞、玲珑 108 号脉等金矿床；燕山期 1 亿年之后，活动减弱，不再造成有意义的金矿化；喜山期活动再起，距今约 0.46 亿年形成了以界河金矿为代表的金矿床。

胶东金矿成矿集中在燕山期大约 0.8 亿年的时间范围内，各带成矿的早晚无明显的规律性，取决于该区的地质条件。

本研究首次对胶东东部牟-乳断裂带上的乳山金矿测定了一次成矿作用不同矿化阶段的同位素年龄，这是前人未曾作过的大胆尝试。对围岩蚀变分带发育不全的金矿床，提出了测定其"主矿化期同位素年龄"的概念，使为数众多的金矿床的成矿年龄得以综合性的有科学意义的表达。以对 Rb-Sr 方法全方位的理解并鉴于目前测试水平的提高，我们采用了蚀变矿物组合样品，从而大大扩展了取样、选样的适应性，这种新扩展给已经成熟的 Rb-Sr 方法在应用方面注入了新的活力。据此，我们获得了包括山东、河南、安徽等省在内的一批金或金属矿床成矿的年龄数据，对分析矿床成因和找矿思路都起到了颇有价值的作用，这些成果还体现在对郯庐断裂两侧、纬向构造体系小秦岭地区的金矿床和铅锌矿床的横向验证。可以说，本研究推出并采用的蚀变矿物组合样品，为今后解决不同围岩、不同时期金矿床的成矿时代问题，拓宽了视野和途径，提高了效益和能力。

胶东金矿一系列 Rb-Sr 等时线提供的$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值集中在 0.71032—0.71534 之间。这说明，胶东各金矿的物质来源并非纯系上地幔，而是来源于大陆壳。即使来源于上地幔的岩浆也是在侵位的过程中，大量地熔融了大陆壳，已经面目全非了。

1993 年为了把研究成果及时能为生产科研服务，在《贵金属地质》第 2 卷第 1 期上发表了《胶东招掖金矿带金矿化蚀变带 Rb-Sr 等时线的研究及测定》、《矿化期同位素年龄测定中样品的挑选及元素分离技术的研究》。在《河南地质》1993 年第 11 卷第 2 期上发表了《矿化期同位素年龄的初探》等三篇文章。反映了本研究的阶段成果，受到同行专家的重视。

本研究是在地质矿产部科技司、金矿专项办公室领导下及地质力学研究所科技处直接管理下进行的。野外地质工作得到了各所在矿山、黄金管理部门领导的关心和指导。研究工作中得到了孙培基高级工程师、刘敦一研究员、陈光远教授、邵伟教授的指教和帮助，在此一并致谢。

目　　录

第一章　胶东金矿区域地质背景 ……（1）
第一节　区域地层 ……（1）
第二节　岩浆岩 ……（2）
第三节　构造及金矿带分布 ……（2）
第二章　胶东金矿围岩蚀变和成矿阶段 ……（4）
第一节　蚀变岩的类型 ……（4）
第二节　蚀变岩的分带和期次 ……（6）
第三节　成矿阶段 ……（7）
第三章　矿化期同位素年龄测定样品的挑选 ……（8）
第一节　Rb-Sr 法测定同位素年龄样品的必备前提 ……（8）
第二节　样品挑选的依据 ……（8）
第三节　封闭体系的辨证认识和处理 ……（10）
第四节　挑出合格的样品 ……（11）
第四章　玲珑矿田金矿床主矿化期同位素年龄的确定 ……（12）
第一节　地质概况 ……（13）
第二节　围岩蚀变 ……（13）
第三节　西山矿区 108 号脉金矿床金矿化期同位素年龄的确定 ……（15）
第四节　东山矿区九曲金矿床金矿化期同位素年龄的确定 ……（17）
第五章　灵北矿田灵山沟矿区金矿床主矿化期同位素年龄的确定 ……（20）
第一节　地质概况 ……（20）
第二节　围岩蚀变 ……（20）
第三节　主矿化期同位素年龄的测定 ……（20）
第六章　焦新矿田界河金矿成矿期同位素年龄的确定 ……（23）
第一节　地质概况 ……（23）
第二节　围岩蚀变 ……（23）
第三节　主矿化期同位素年龄的测定 ……（23）
第七章　胶东乳山金矿矿化阶段同位素年龄的研究及测定 ……（26）
第一节　地质概况 ……（26）
第二节　围岩蚀变 ……（26）
第三节　矿化阶段同位素年龄的测定 ……（28）
第四节　小结 ……（32）
第八章　胶东栖霞马家窑金矿成矿期同位素年龄的确定 ……（35）
第一节　地质概况 ……（35）
第二节　围岩蚀变 ……（36）

第三节　主矿化期同位素年龄测定 …… (36)
第九章　分析测试技术 …… (38)
第一节　样品的挑选和研磨 …… (38)
第二节　被测元素的分离技术 …… (38)
第三节　元素的测试 …… (39)
第四节　分析测试中标准样控制 …… (39)
第五节　样品点的筛选和等时线的处理 …… (39)
第十章　其它地区金矿化同位素年龄的测定 …… (41)
第一节　郯庐断裂带两侧其它地区金矿床成矿年龄的测定 …… (41)
第二节　纬向构造体系中金矿床成矿时代的测定 …… (42)
第三节　其它地区同位素年龄测定的结论 …… (44)
第十一章　对一些地质体形成时代的再认识 …… (45)
第一节　玲珑花岗岩成岩时代的讨论 …… (45)
第二节　昆嵛山花岗岩成岩时代的讨论 …… (46)
第十二章　胶东金矿同位素年龄厘定研究结论 …… (48)
第一节　胶东金矿成矿在时间域上的演化 …… (48)
第二节　样品适应性的新扩展 …… (49)
第三节　成矿阶段与主矿化期同位素年龄的测定 …… (50)
第四节　胶东金矿物质来源 …… (50)

第一章　胶东金矿区域地质背景

胶东在大地构造上属华夏构造系系列，主要发育晚期新华夏系二级构造带——胶东断裂构造带。

第一节　区域地层

胶东地区内出露地层以太古界胶东群为主，其在胶东隆起范围内占全部出露地层的70%。其次为下元古界粉子山群，出露较局限；晚元古界蓬莱群，出露零星。由于胶东地壳长期上升，致使整个古生界缺失，中、新生界也发育不全。

一、胶东群

胶东群主要分布于栖霞至招远以南，总走向为东西向。从下至上较为通用的划分层序为：蓬夼组、民山组、富阳组。蓬夼组与民山组均以黑云变粒岩及斜长角闪岩为主。富阳组以片麻岩为主，黑云变粒岩仅为夹层。

胶东群中发育有不均匀的混合岩化现象，表现明显处可出现注入混合岩、条带状混合岩、眼球状混合岩等。据对余汉茂(1984)采集的胶东群中上部层位中5个锆石样品进行Ub-Th-Pb法同位素年龄测定，计算Pb-Pb等时线年龄为$2664.5^{+9.0}_{-8.0}$Ma，U-Pb谐和图上交点为2670Ma。一般将此值视为蓬夼组形成年龄。

二、粉子山群

粉子山群多沿胶东群地层边缘呈线型分布，假整合或局部不整合于胶东群之上。主要岩石类型有：黑云变粒岩、石英岩、大理岩、片麻岩、二云母片麻岩等。岩石属中级变质，混合岩化程度较弱。测定黑云母片岩K-Ar年龄为1450Ma(据山东地质六队)。

三、蓬莱群

蓬莱群在区内分布零星，覆盖在胶东群之上，与下伏岩层为明显的不整合接触。岩石类型主要为浅变质的石英岩、板岩、千枚岩、大理岩、灰岩等，据有关资料，K-Ar法同位素年龄为900—1100Ma，属元古代产物。

四、中新生代地层

本区中生界上侏罗、下白垩系为陆相火山岩，分布在断陷盆地内。层中夹有中基性火山岩，显示出胶东中新生代构造岩浆活动十分强烈，对金矿化及其找矿勘探极为有利。

第二节 岩 浆 岩

区内岩浆活动频繁，侵入岩为大面积出露的花岗岩类和各种酸、中、基性脉岩。胶西北地区主要分布有玲珑粗粒黑云母花岗岩、玲珑(中)细粒浅色花岗岩，栾家河花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、上庄变斑状花岗岩、艾山花岗闪长岩以及胶东东部地区的三佛山和昆嵛山花岗岩。

胶东金矿带脉岩类极为发育，伟晶岩与细晶岩脉常出现于各金矿区深部及外围，此是指示碱质与硅质活动与其后金矿化的标志，是与金矿化有关的长石石英脉出现的前奏。

第三节 构造及金矿带分布

胶东地区主要发育晚期新华夏系二级构造带——胶东断裂构造带。

在成矿前新华夏系构造活动比较强烈，造成了大量的脉岩侵入，为含矿热液的形成和金元素迁移富集提供了必要的地质条件。

在成矿过程中，由于新华夏系多次活动的影响，造成了多个成矿阶段。诸多矿床学家对成矿阶段的划分大体相似，即均以钾长石化硅化阶段开始，进而主要矿化阶段即石英-黄铁矿化、多金属硫化物阶段，结束于碳酸盐化阶段。

在成矿之后，新华夏系还有构造活动，但强度相对较弱。

研究表明本区构造有分级控矿的规律性。大断裂并不含矿，但在其一侧或两侧与其平行的规模较小的断裂中可找到矿体。也可看到，构造体系中具有断裂带的方向性和等距性控矿规律。胶东地区从西到东有如下大的成矿带：招-掖金矿带、蓬莱-平度北东金矿带，栖霞-马家窑金矿带、牟平-乳山金矿带。

招-掖金矿带集中了胶西北地区金矿储量的95%以上，主要包括三山岛、焦家、新城、界河、灵山沟、北截、金翅岭和玲珑等金矿。

中部栖霞-马家窑金矿带主要包括马家窑、山城、流口等金矿。

东部牟平-乳山金矿带主要包括金青顶，邓格庄、金青岭等金矿。

每条成矿带上的矿床分布同样具有等距性，这种突出性、普遍性的构造控矿规律对找矿极为有利。

我们的具体工作区和同位素年龄采样分布见图 1.3.1

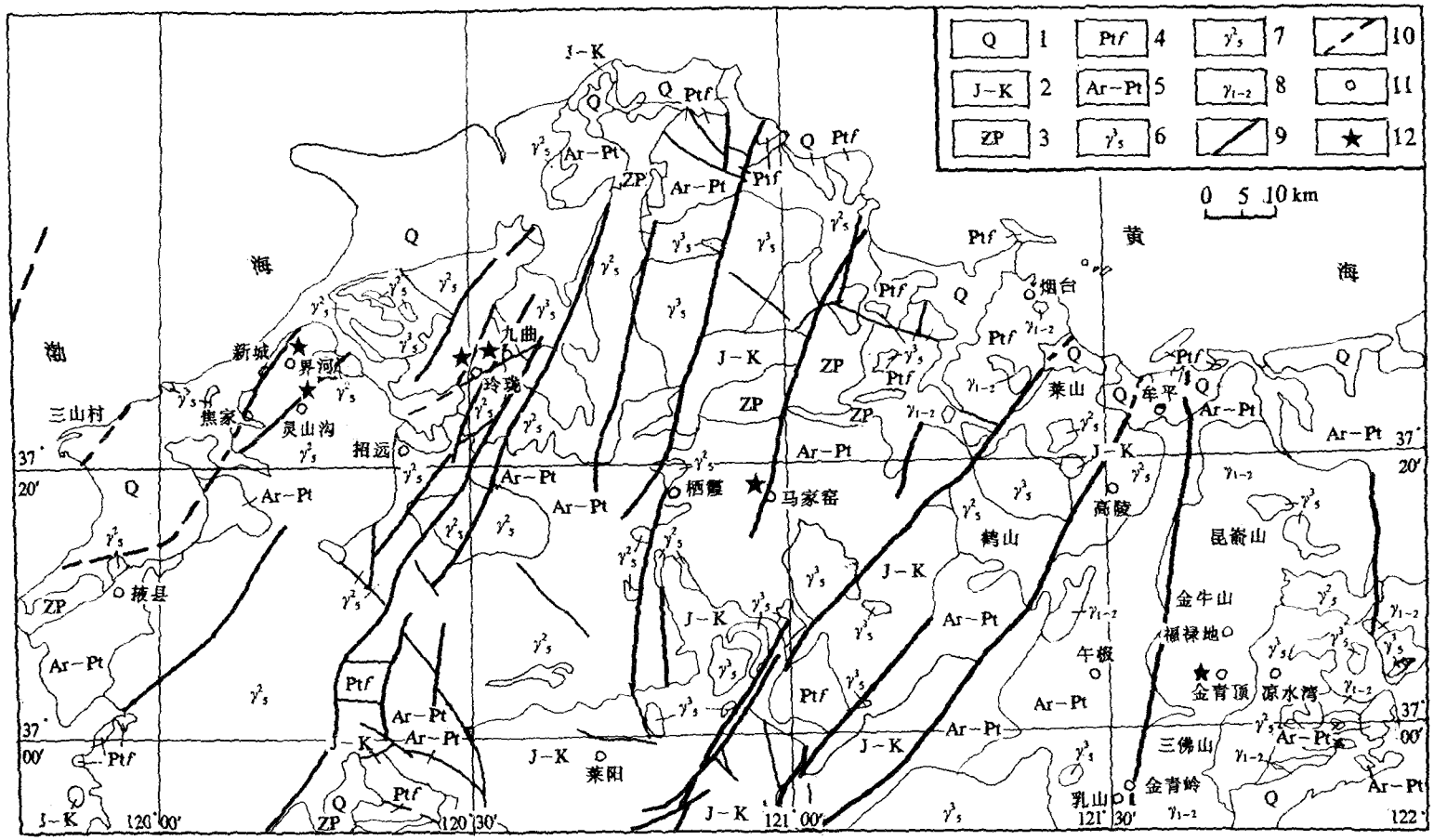


图 1.3.1　胶东金矿区同位素年龄采样点分布图

1.第四系；2.侏罗—白垩系；3.震旦系；4.二叠系；5.太古—元古界(胶东群)；6.燕山晚期花岗岩；

7.燕山早期花岗岩(玲珑花岗岩)；8.太古—元古花岗岩；9.断层；10.推测断层；11.金矿点；12.采样点

第二章　胶东金矿围岩蚀变和成矿阶段

已有的研究工作表明，围岩蚀变作用既可发生于成矿期间，也可发生在成矿之前或成矿之后，而各期围岩蚀变又可相互叠加。与岩浆演化作用有关的含矿溶液和不含矿的热液均可使围岩发生蚀变，只是深度和广度有所差别。因此，正确地划分蚀变围岩的类型、期次、顺序、化学过程与成岩成矿过程溶为一体，以便找出成矿时形成的蚀变矿物或矿物组合给以同位素年代学研究，这对得出金矿床矿化的年龄有着十分重要的意义。

第一节　蚀变岩的类型

一、长石化

长石化主要表现为钾长石化，另外有微斜长石化、冰长石化、钠长石化，当含粉状赤铁矿较多时便形成红色长石，俗称红长石化。

Au 的搬运剂主要是非金属元素 O、H、C、N、S、Cl、F，它们可与 Au 离子形成各种可溶性盐类、络合物、胶体溶液或水溶液。金属元素 K、Na、Ca、Mg 等可使溶液碱化，提高氧化程度，促进 Au 溶解、运移和沉淀。以上作用在矿物学上的表现为非金属元素进入矿物成分结构及气液包体。金属元素 K、Na、Ca、Mg 形成成矿外围的蚀变矿物，如长石化(钾、钠长石化)等。长石化一般分布在蚀变带外侧，但当绢云母化不发育时，它也可邻近矿体出露。

由于所处构造的地质环境不同，长石化可向两个成岩成矿系列发展。受构造裂隙控制的多呈脉状沿裂隙产出；受构造破碎带控制的多呈团块状面型钾化，成为蚀变岩型金矿的前奏。

长石化是 Au 矿形成的先导。长石化强烈，表示该地区有元素的强烈运移，粒度愈粗，表示挥发组分含量愈高；颜色愈红，表示氧化程度愈高，对 Au 矿化越有利。脉型钾化和团块状钾化分别是找石英脉型金矿和蚀变岩型金矿的标志。

长石化是成岩-成矿过渡阶段的产物。陈光远等把其列为成矿期中的无矿化阶段，只相当于使成矿物质转移到有利地段富集成矿作用的纽带，所以一般情况下它的同位素年龄应该是成矿阶段中最早的计时。

应该提到的是长石化往往与硅化形成蚀变组合，钾长石化沿裂隙向上可逐渐演化为白色干净的石英小脉，小脉中可见石英与钾长石颗粒共生。白色石英小脉再向上有可能逐渐演化出石英黄铁矿脉并有一定的金。这充分反映出了钾长石化是金矿主矿化期的前锋。取长石化阶段的长石测定同位素年龄，即可代表成矿热液前锋的年龄。

二、硅化

硅化是金矿围岩最为常见的蚀变现象。含有大量长石类的花岗质岩石，受蚀变出现大量的绢云母和游离的石英。根据交代蚀变岩的矿物成分变化以及交代特征和化学组分的迁移，交代蚀变的反应可用下式表示：

$4KAlSi_3O_8+4NaAlSi_3O_8+2CaAl_2Si_2O_6+12H_2O\rightarrow$

钾长石　　钠长石　　钙长石

$2KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2+22SiO_2+2Na_2O+2Ca_2O+K_2O+3Al_2O_3+nH_2O$

绢云母　　石英

局部地区绢云母和石英分别集中，石英常在绢英岩化的外侧形成窄而富集的硅化带，有时可出现独立的硅化带，岩石致密而坚硬，几乎全由硅质物构成。著名的玲珑矿田的"玲珑背"即是由硅化带构成的。

蚀变型的石英呈不同形状、不同颜色(因含杂质不同)、不同粒级存在于蚀变岩中。它是矿化阶段的产物，其本身常常含金(多为暗灰色，金含于微细隙之中)。所以用它测试的同位素年龄应反映出矿化时期的年龄。

三、绢英岩化

绢英岩化是金矿区最广泛的一种蚀变类型，主要分布在矿脉或无矿石英脉的两侧，与断裂关系密切，绢英岩主要由蚀变绢云母、石英组成。绢云母和石英都是热液蚀变产物(交代蚀变反应式见前)。对应着多阶段的成矿热液活动，有多阶段的绢云母、石英产生。有时可和蚀变产生的黄铁矿构成黄铁绢英岩带。绢英岩化带一般宽数十厘米至十余米不等。绢英岩化是金矿化的主要矿化阶段，与黄铁矿化组成金矿的主矿化期。所以从绢英岩中选取绢云母测定矿化年龄就成了年代学者的主要方法。

四、黄铁矿化

随着金矿围岩蚀变的增强，含矿热液已从早期热液具有高温、高氧化势及低硫特点的氧化环境向高硫还原环境转变。围岩中暗色矿物首先分解，释放出 Mg、Fe 等并向裂隙迁移，进入热液系统，导致矿脉中出现大量富 Mg、Fe 的矿物，如黄铁矿。因为金有亲铁性，所以黄铁矿中存在金，成了金的主要载体。

黄铁矿化多分布于矿脉附近，呈脉状或浸染状叠加于绢英岩化之上，构成所谓的黄铁绢英岩，它是每次矿化的主矿化期，是主要的成矿阶段。黄铁矿化的宽窄和强弱根据金矿类型不同而有所差异。

黄铁矿化时产生的黄铁矿是成矿阶段的产物，是主要含金矿物，其中含测定同位素年龄的母体(如铷)、子体(如锶)较少，单独对它进行测试难度较大，但不是年龄样品中的杂质成分，没必要对它费力地加以排除。

五、碳酸盐化

一般认为碳酸盐化只是成矿热液最晚期的产物，与金矿化的关系不重要，其出露局限且不规则，有时邻近矿体，有时远离矿体，常以微细方解石脉产出。碳酸盐化还表现为菱铁矿的出现。

不少专家对胶东玲珑金矿的方解石进行成因矿物学研究之后认为，方解石广泛发育，往往方解石发育强的地段金矿矿化也强。在矿化的主要阶段都有方解石的存在，它时而与石英共结晶，时而与黄铁矿共生。金的富矿部位附近，方解石大量发育。有许多银、金矿就与方解石共生，这说明碳酸盐化作用与金矿化有密切联系。在金的热液运移中，CO_2 向围岩

扩散，CO_3^{2-} 和 HCO_3^{1-} 阴离子团可能起到了对金硫络合物的保护作用，当热液中有较多的碳酸根离子时，有助于金硫络合离子团的稳定；当热液物理化学条件改变，沉淀碳酸盐矿物并同时对围岩发生碳酸盐化时，热液中的 CO_3^{2-} 大量消耗，从而加快了金的沉淀。所以碳酸盐化形成的方解石既有成因意义也有找矿意义，作为测定矿化时的同位素年龄样品更是毫无疑义的了。

六、绿泥石化、绿帘石化

绿泥石化、绿帘石化在不同矿区发育程度不尽相同。在发育较好的矿区如乳山金矿，它们也不独立成蚀变带，而是叠加在其它蚀变带之上。早期的绿泥石化、绿帘石化是由于 K、Na 的活动，Ca、Mg、Fe、O、H、S 的活动加强，而使角闪石、黑云母绿泥石化，斜长石绿帘石化，晚期的绿泥石化、绿帘石化带可切穿矿体，有时本身又被矿化。所以它们也是金矿化期的蚀变矿物。

第二节　蚀变岩的分带和期次

蚀变组合多是多期热液作用的结果，若叠加相重合则分带简单，否则蚀变分带较为复杂。但总的来说，发育完好的蚀变带有如下规律。

钾化（长石化）是在蚀变带的最外层，远离矿体。

绢英岩化带，靠钾化带向矿体分布，此带有时为黄铁绢英岩化，或把黄铁绢英岩化带单分成更靠近矿体的一个带。

石英脉矿体居蚀变带的核心。

蚀变带因地而异，并非所有蚀变带都对称发育上述各带，不少蚀变带发育并不对称或大部缺失。

蚀变也具有垂直的分带特征，随金矿化出露标高不同有所差异。蚀变带水平方向总的趋势是由蚀变边缘到中心矿物组合的形成可分为三个阶段：钾微斜长石阶段、绢云母石英阶段、水云母阶段。矿化多在后两个阶段同时形成。

蚀变作用的期次：蚀变作用的期次和顺序是通过蚀变岩与已知的各成矿阶段的穿切和包含关系来确定的。钾长石化蚀变岩常遭到绢英岩化，而绢英岩又被呈细脉、星散状的黄铁矿所交代。钾长石化可逐渐演化为石英小脉，沿石英小脉又演化成石英黄铁矿脉。有时单独的硅化仅靠近矿体。细鳞片状绢云母几乎全部交代长石而具长石假象。暗色的铁、镁矿物不复存在，全部蚀变为绿泥石和黄铁矿。碳酸盐化发育时方解石形成小细脉或方解石－石英小脉，这在矿脉两侧围岩中普遍发育。

从上述种种的穿切、包容、演化关系可总结出一个大致的蚀变带期次：长石化（钾长石化、红化）→硅化、绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化→黄铁绢英岩化→黄铁矿化（可与绢英岩、石英组成各种蚀变组合而构成矿体）→碳酸岩化（绿泥石化、绿帘石化、硅化）。

应该强调的是，由于各矿床形成时含矿溶液成分和地质条件不同，从而成因类型不同，所以蚀变的期次都有所差别，以上的概括只是一般的规律性。

第三节 成矿阶段

金矿床由于成因类型不同，成矿阶段必有差异。即使是同一矿床，各矿床学家由于观察角度不同，认识有别，成矿阶段的划分也各有主张。但是，就区内各主要矿床来说也可找到共同的论点：

1.从大的分期可分成热液成矿期和表生期。

2.热液成矿期的第Ⅰ成矿阶段不含矿石英脉，称为无水硅酸盐阶段，表现为钾长石石英脉。钾长石呈肉红色，微斜长石为半自形粒状，石英呈灰白色。少量黄铁矿呈立方晶形。第Ⅱ成矿阶段为含水硅酸盐阶段，表现为白云母石英脉，少量细粒黄铁矿呈立方体。以上两个阶段为无矿阶段(陈光远等对玲珑金矿的划分)。这两个阶段生成的矿物对采集矿化年龄样品极为有利。

3.早期硫化物阶段(Ⅲ)。这是一个重要的成矿阶段，其矿物组合复杂。可根据黄铁矿、石英(主要载金矿物)和其它矿物的组合以及相互关系，此阶段又可分为单独的三个矿化阶段或六个亚阶段。

这几个阶段的特点是石英比前两个阶段减少，不独立成脉而是伴硫化物矿物产出，说明溶液由碱性、弱碱性转变为酸性。

4.多金属硫化物阶段(Ⅳ)。硫化物种类逐渐增多，随着硫浓度增大，金属组分变得更为复杂。主要金属矿物有闪锌矿、方铅矿、白铁矿等，含矿溶液向碱性发展。此成矿阶段形成有工业意义的矿床。

5.碳酸盐阶段(Ⅴ)。晚期的碳酸盐以细脉状石英方解石的形成出现且穿插早阶段的矿脉和围岩。有些矿区此阶段不含矿，是整个成矿作用的尾声。但在一些矿区属含金碳酸盐阶段，形成含金碳酸盐脉，叠加作用明显，方解石矿化并含有明金。

6.表生期。构成矿床的氧化带，矿石呈蜂窝状，品位提高，最高可达数百克每吨。

第三章　矿化期同位素年龄测定样品的挑选

对矿化年龄的测定有两种测定方法：其一是间接测定；其二是少数直接用蚀变矿物（多为蚀变绢云母）进行测定。直接测定要求单矿物挑选纯度在85%—95%甚至大都在95%以上。如此高的纯度，势必造成人力物力的极大投入，致使许多应用者望而却步。当然问题的本质不在于它的苛刻，而在于它是否必要。针对此问题，我们进行了专门的探讨并积累了成功的经验。

第一节　Rb–Sr法测定同位素年龄样品的必备前提

1.Rb–Sr等时线年龄测定方法的基本原理是根据^{87}Rb放射衰变产生放射成因的^{87}Sr。其衰变通式如下：

$$^{87}Rb \rightarrow {}^{87}Sr+\beta^{-}+\gamma+Q$$

式中：^{87}Rb——母体放射性元素；^{87}Sr——放射性生成Sr；

β^{-}——放负电的贝塔粒子；γ——中微子；Q——衰变能。

通过计算整个衰变过程所经历的时间即得出同位素年龄。故此，样品中必须含有母体^{87}Rb和它的子体^{87}Sr。[

2.地质体或一个地质事件（包括矿化）形成时起至今必须保持Rb和Sr的“封闭体系”，即母体Rb和子体Sr既不能添加也不能丢失。

3.地质体或地质事件在形成时，应有相同的物质来源。用Rb–Sr等时线法测定同位素年龄的各样品点若很好地落在一条线上的话，即应有一个相同的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比，一般当作为同期、同源的标志。

4.为了得到良好的等时线，必须使样品落点在等时线上“拉得开”，局部集中的样品落点经放大后线性也应良好，否则不能与拉开的点一起回归拟合。因而要求样品的Rb／Sr比值应有所差别，最主要的是Sr要有低值和高值。

第二节　样品挑选的依据

一、含Rb–Sr样品的确定

Rb是碱金属，属第I_A族，它能在所有含钾矿物中代替钾。因为Rb不形成任何独立的矿物，所以我们在挑选矿物时，只能以含钾的多少间接地确定样品中Rb的含量。如云母类、钾长石类、粘土类矿物中Rb含量都较高。矿物包裹体中的微量Rb也可以成为测试的对象。通常被认为不含Rb的石英，因其含有足够的气液包裹体，同样可以被选为测试样品。

Sr是碱土金属，属第II_A族，它可构成独立矿物菱锶矿（$SrCO_3$）和天青石（$SrSO_4$）。Sr在许多矿物中替换钙，因此Sr还存在于斜长石、磷灰石、碳酸钙等矿物中。所以视样品中含

钙的多少，可间接确定 Sr 的存在。

由于含 Rb 矿物中^{87}Rb不断放射产生^{87}Sr，所以 Sr 总是在不断地变化。矿物形成时 Rb 含量在各个矿物中不一样，即使同一种矿物，它的不同部位 Rb 的含量也不尽相同。所以 Sr 的总含量也必然有所差异。因此，可依照 Rb-Sr 的上述化学性质进行鉴别并挑选出含 Rb-Sr 的样品。

二、同源、同期，封闭体系矿化样品的确定

金属矿床(包括金矿床)多是热液矿床，其围岩蚀变类型复杂并常具有多阶段性和分带性。研究围岩蚀变的特征，从中取出满足 Rb-Sr 等时线年龄方法所要求的样品，是矿化年代学研究工作的关键。

蚀变岩组合为多期热液作用而成，其蚀变矿物都和矿化有着密切的联系。它们或为矿化前期的预示性先导矿物，或为矿化同步生成的伴生矿物，或为矿化末期的收尾矿物.我们认为它们均属一次成矿作用，只是不同期次，不同阶段之产物罢了。

岩浆热液和地下水、地表水相混合形成含矿热液。分散在岩石中的自然金呈零价存在，要使金迁移到热液中去进而使其富集，必须使 Au^0 变成 Au^{3+}即通常称之金活化。金被氧化除要求有合适的温度、压力、pH、氧化电位等条件外，尚需要强氧化剂及络合剂的存在。氧化剂可使金变成离子而进入热液，络合剂将氧化形成的金属离子结合成稳定的络离子进行迁移。

在矿体组成上碳酸盐是主要矿物。早期可出现铁白云石，菱铁矿；晚期出现钙镁碳酸盐类矿物。因为碳是变价元素(C^0, C^{2+}, C^{4+})，所以碳的化合物对金活化起了一定作用。当含金的岩石中碳酸盐矿物遭到高温分解时(菱镁矿分解温度 540℃，方解石为 900℃)，分解的一瞬间将出现氧($(CO_3)^{2-}\rightarrow CO_2+O^{2-}$)，构成强氧化环境，使金氧化。

硫化物也是矿石中的重要成分。硫是变价元素，黄铁矿分解形成$(HS)^{1-}$时，S_2^{2-} 将还原成 S^{2-}而使金得到氧化。

含铁矿物也是组成金矿石的主要部分。当含 Fe^{3+}的岩石遭受偏酸性溶液作用时，Fe^{3+}将按 $Fe^{3+}+e\rightarrow Fe^{2+}$进行还原，使金氧化。

其它变价元素 Cu、Mn 都有自身还原使金氧化的作用。

以上所说金的活化过程是多次进行的金的富集萃取过程。引起沉淀的因素主要是温度、压力、pH、Eh 的变化和相互作用。金及相伴硫化物的沉淀温度在 300℃左右。较早的石英形成高于 300℃，较晚的碳酸盐可低于 300℃。

引起 pH 变化的因素包括外来物质进入溶液及溶液中的组分被排出，如碳酸盐围岩与溶液作用以及碱性水进入溶液使碱增加。溶液中 K、Na 等组分结晶及溶液与酸水相遇都将使溶液的酸度提高。

呈 Au-S 络合物运移的溶液，在沉淀早期呈碱性，当长石析出后，溶液显中偏酸性，此时石英析出(pH 为 4.8—7.4)，之后溶液继向中性演化进入金及硫化物沉淀的环境(pH 为 6.19—7.51)，以后溶液变为碱性，为碳酸盐矿物沉淀创造条件。

含矿热液上升到浅处，氧和酸性水的进入可提高其氧化电位，形成含 Fe^{3+}的矿物，但总系统仍处在一个还原环境中。此时还原剂 Fe^{2+}、S^{2-}等将 Au^{1+}还原成 Au^0(自然金)而沉淀出。这就是经常可以见到 Au-Fe 紧密相伴，金表现出来的亲铁性以及两者常发育在矿脉

旁或脉壁的围岩绿泥石化带中的原因。

经上述分析，在金从含矿溶液中析出沉淀的整个过程中可以看到：金矿化产生和氧化环境中析出了长石、石英（可称矿化先导性蚀变矿物或金矿化预示性矿物）；还原环境中产生的黄铁矿，铁的进入使含铁矿物产生云母类矿物（称金矿伴生矿物）；含矿溶液变为碱性碳酸盐的沉淀，如方解石脉的产出蚀变矿物（称矿化收尾）；等等。这些都说明，在有机的形成金矿的全过程中，始终处于一个同源同期的大封闭体系之内。

第三节　封闭体系的辨证认识和处理

1.如前所论，含矿溶液处在不同的地球化学环境就生成不同的矿物组合，产生不同的围岩蚀变带。我们用一次金矿化中不同矿化阶段所产生的蚀变带（简称化带）中的岩石或矿物作 Rb-Sr 等时线同位素年龄，即可得到对应的不同化带的年龄。把化带与成矿阶段有机地联系起来考虑又可得不同矿化阶段的同位素年龄。此时我们是把不同矿化蚀变带分别作为独立的 Rb-Sr 封闭体系来看待的。

热液矿床的成床作用是脉动、多期、长期而往复式的。只要一次矿化过程其脉动时间间隔不大于主成矿期年龄的 10%，我们就可以把这一次成矿作用从成矿前期钾长石化、硅化，主成矿期的黄铁绢英岩化到成矿后期碳酸盐化的整个过程，看成一个大的 Rb-Sr 封闭体系。把采集的各成矿阶段的年龄样品一起进行回归分析得出的 Rb-Sr 等时线就代表了这次矿化主矿化期的同位素年龄。

2.Rb-Sr 等时线法测全岩可以得出成岩的年龄，测全岩中的单矿物作等时线可以给出岩石发生热力事件的年龄。我们认为金属矿床在矿化过程中也类似这种情况，主要区别在于：岩石从成岩到发生以后的热力事件间隔可长可短，有的时间间隔可达几亿乃至十几亿年。而金属矿床每一次矿化，从开始到结束大都在几十个百万年范围之内，因此可以把一次矿化时形成宽窄不一的各个蚀变带，作为一个大的 Rb-Sr 封闭体系来看待，样品总体拟合的等时线给出的年龄就是该次主矿化期的年龄，也可说成是这次矿化的年龄。假若第二次的矿化与前一次矿化相隔时间很长，如第一次矿化年龄是 2 亿年，第二次矿化是在第一次矿化后 1 亿年发生，就应把两次矿化分别处理，不可看成一个大封闭体系。这种情况需从两次叠加矿化中区分出来，分别测定两次矿化的同位素年龄。

一次矿化中，各化带发育良好，单矿物仍保存着各自独立的 Rb-Sr 封闭体系，那么对各化带的矿物分别取样进行测定，给出的 Rb-Sr 等时线年龄就是所在各化带形成的年龄。

我们认为封闭体系可大可小，对二者应辨证看待，只要各带发育良好，就应尽可能地选出各带中蚀变矿物进行测定，确定出各成矿阶段的年龄，这无疑是对年代学工作的推进。现在年代学工作正向微区发展，对保存完好的单颗粒锆石，用离子探针质谱计可测出整个地质体的年龄史就是例证。

3.在工作中往往遇到蚀变带的各化带发育并不都完好，有时只有个别化带存在，而蚀变矿物种类又较少。在这种情况，我们才把这次矿化引起的蚀变带作为一个大封闭体系来处理，尽可能地把能取到的蚀变矿物或蚀变岩、矿石一起进行回归分析，给出这次矿化的同位素年龄。只要一组样品做等时线拟合之后，相关系数在 0.99 以上，则可以将这个大封闭体系中的 Rb-Sr 看成是均一化的，保持良好的。这样处理的 Rb-Sr 等时线给出的年龄，基本

上接近这次矿化主矿化阶段的年龄。

总之，封闭体系大小的确定，应以野外地质现象为依据，从矿物学、矿床学的基本理论入手进行剖析。地质体在经历漫长的地质时间内，能完好地保存着放射性母、子体的衰变关系，严格说是不可能的。但事物总是相对的，认识总有它的局限性和阶段性，只能从中努力寻求更接近客观事物的规律性。

第四节　挑出合格的样品

围岩蚀变的最外带长石化可采集长石类矿物，主要有微斜长石、正长石、钠长石，有时还见有粉尘状赤铁矿含量较多的红色长石。长石化蚀变带是矿化早期形成的和硅化带共同组成不含矿（或含矿但不成工业矿体）的蚀变带，取其中的长石类矿物、部分石英类矿物作Rb-Sr等时线或用K-Ar法测年龄，应代表矿化早期的同位素地质年龄。

靠近矿体蚀变交代长石形成的绢英岩化带，其主要蚀变矿物绢云母，含量约占30—70%，石英含量可达20—60%。黄铁矿化主要以黄铁矿为主，其次为石英，它和绢英岩化相伴出现，据其组合成分可称黄铁绢英岩化，这个矿化阶段是主要矿化阶段，由绢云母、石英、黄铁矿等加入组成的金矿石是富矿体的找矿标志。在此带中选出的绢云母、石英、黄铁矿都是合格的样品，测出的年龄是主要矿化期的年龄。

硅化蚀变岩中主要蚀变矿物是石英，硅化作用可贯穿整个成矿蚀变作用的始终。所以，硅化带中的石英无论加入样品中多少都不会影响年龄结果。

碳酸盐化常以方解石脉形式出现，系矿化晚期的产物。主要矿物组合为方解石、石英、黄铁矿等。但需指出，有些方解石在其它矿化阶段也有产出，这就要从产出状态、穿插关系上加以分析，在作一些其它测试之后，根据解决地质问题的需要，再决定选采某期或某矿化阶段的碳酸岩样品。

金矿围岩蚀变还发育有绿泥石化和绿帘石化。这两种蚀变形成的早晚，可根据其产状、矿化情况而确定。若采取晚期形成的碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化矿物，就可测定出矿化晚期的同位素年龄。

在实际工作中，应首先做好镜下鉴定工作。从野外各化带采集的经磨片鉴定后选出的样品，再经破碎、筛分出10目的颗粒，先用肉眼粗选2—3次，再用双目镜逐粒精选，颗粒的目级可根据被选矿物的存在状态而改变。最后用玛瑙乳钵研磨成200目。破碎研磨中要防止污染，要混合均匀，必要时可过筛。粗粒的样品易造成溶样不彻底，平行样不重合，或分析结果不能使用。

值得提出的是：样品中绝不允许有杂质混入。例如，在挑选钾长石时，围岩中的暗色矿物如黑云母、角闪石等绝不可选入。现代的风化面、表皮铁染等杂质都必须剔除。但与钾长石同时形成的石英或小部分交代形成的绢云母，携带少许对测定结果影响不大。

第四章　玲珑矿田金矿床主矿化期同位素年龄的确定

玲珑矿田是胶东之西北地区的主要产金地。以东山玲珑、九曲、大开头和西山108号脉组成的特大型金矿闻名于国内外，其研究程度在招-掖金矿带中是最高的，亦是我们成矿年代学中的重点工作区。

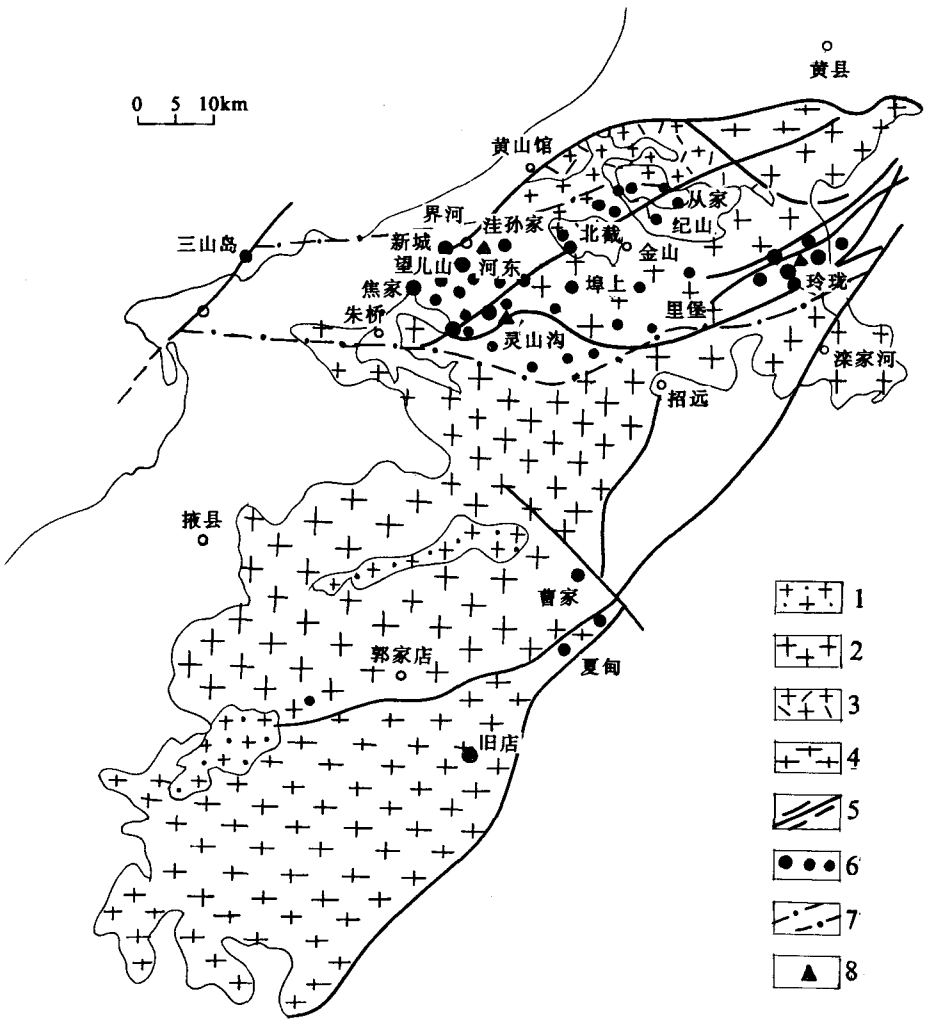


图 4.1.1　招-掖金矿带的主要金矿床分布图

1.燕山期花岗岩；2.滦家河花岗岩；3.郭家岭花岗岩；

4.玲珑花岗岩；5.断裂；6.金矿床(大、中、小)；7.矿界线；8.年龄取样位置

我们对该矿田的108号脉和玲珑、九曲、大开头金矿床进行了专题的研究工作，从而颇具代表性地获取了玲珑西山108号脉和东山玲珑九曲两个矿区的主矿化期的同位素地质年龄。

第一节 地质概况

玲珑矿田位于招-掖金矿带的东端，又称招-掖金矿带的东部矿田。招-掖金矿带居于华北陆台东缘胶辽台隆的胶北隆起上，西傍著名的郯庐大断裂北延的沂沭断裂带，南邻栖霞复背斜的核部。金矿带上集中了大、中、小型金矿床二百余处，而玲珑金矿则是其中大型矿床之一。

持板块观点的地质学者认为，玲珑矿田在华北板块胶东地体内，在前寒武纪结晶基底的东西向线型构造的基础上，随着中生代太平洋板块的俯冲，使弧后陆缘活化，形成NE-NNE向断裂的叠加，矿田内以断裂构造为主。

在玲珑矿田70km^{2}范围内分布着金矿脉200余条，赋矿围岩是玲珑花岗岩，郭家岭花岗岩。另外还广泛分布于花岗岩中的胶东群变质岩残留体和中基性脉岩。

矿田内矿化严格受花岗岩中的脆性断裂控制，矿化类型复杂且齐全。矿脉以石英脉型、破碎带蚀变岩型为主，间或见到二者之间的过渡型。区内Ⅰ级断裂为破头青断裂和玲珑断裂，二者构成了矿田的基本轮廓。Ⅱ级断裂为矿脉的容矿断裂。玲珑断裂斜跨矿田中部，走向NE23°。矿田以断裂为界分成两个部分，断裂之SE盘称为"东山矿区"，另一盘称为"西山矿区"。

第二节 围岩蚀变

玲珑矿田的东山和西山两个矿区在围岩蚀变方面有所差异。西山矿区沿断裂发育有面型或线型钾化。钾长石-石英化的蚀变组合在西山矿区发育强烈。钾化只是金矿化钾交代的前锋，可作为导矿构造的蚀变标志。西山矿区主要矿化是在早期硫化物阶段，在此阶段含金石英脉的两侧往往发育有硅化、绢云母化、黄铁矿化、菱铁矿化和绿泥石化。其中绢云母化、黄铁矿化、硅化通常合并以黄铁绢英岩化来标志。东山矿区因以破碎蚀变岩型金矿为主，只有在部分地段才发育有钾长石化。如我们在东山玲珑坑口的206中段69支脉中见到晶形完好的面型钾化的红长石。大部分的围岩蚀变集中在早期硫化物阶段和多金属硫化物阶段。在含金石英脉的边缘除发育有和西山矿区同样的围岩蚀变之外，特殊之处是方解石化不只是矿化后期的碳酸盐化阶段才有，而在主矿化期都有发生，方解石发育强的地段金矿化也强。方解石与同阶段石英共结晶呈镶嵌结构。在东矿区可见到方解石在石英脉中均匀分布，方解石在矿脉中不均匀分布，有的方解石颜色为深灰或黑色，其附近金矿更富。有的方解石和黄铁矿共生组成金矿石的一部分。所以在东山矿区内所取的以方解石为主的年龄样品，其组成就决定了它在等时线的落点就不一定在"锁点"位置，而是抬高了。样品LET-23就是一例。

绿泥石化在东山矿区异常发育，呈多次叠加，胶东群的残留体或基性脉岩受矿化蚀变的影响使暗色的含铁矿物发生绿泥石化。我们在玲珑坑口206中段69支脉中亦见到了发育

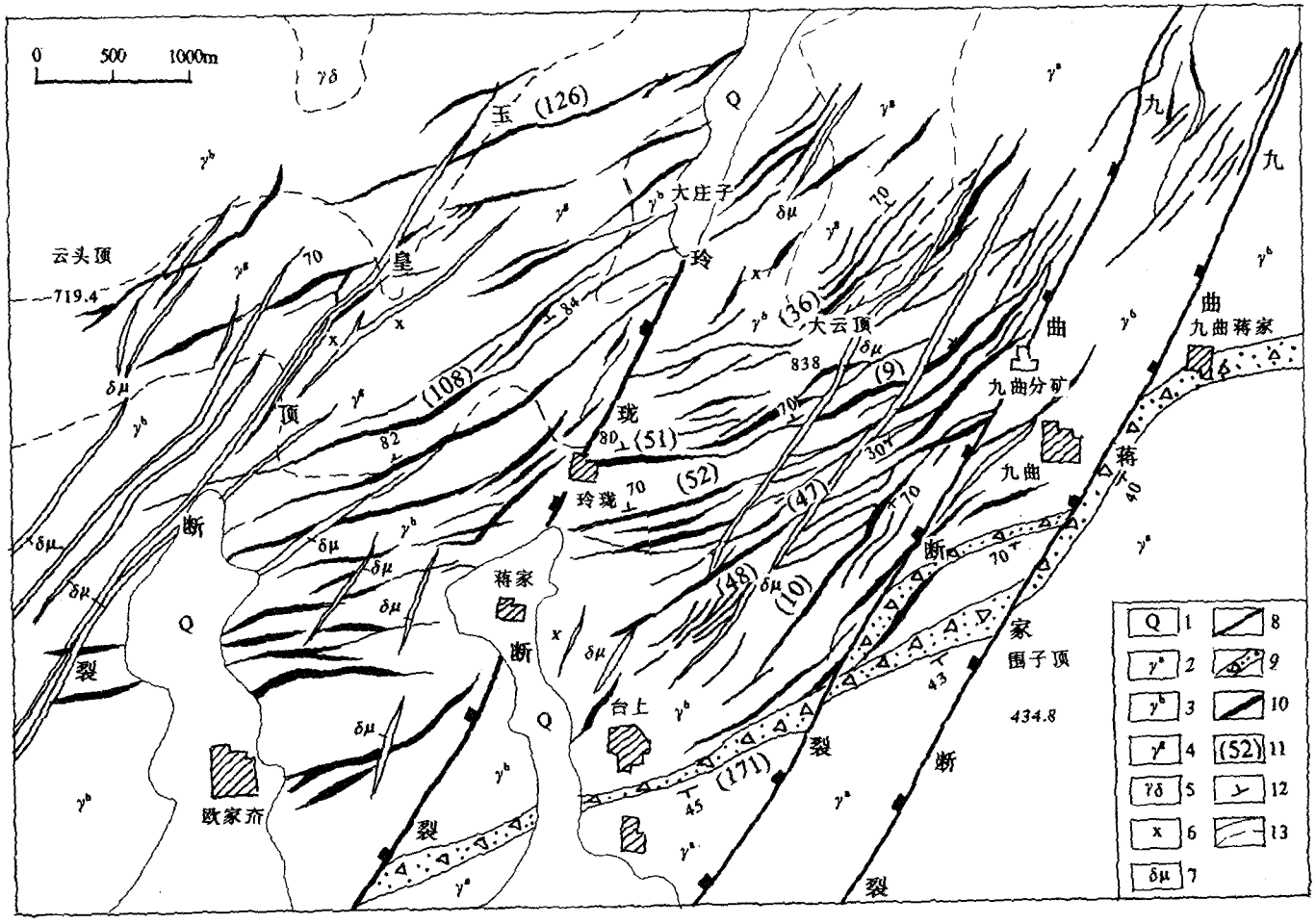


图 4.1.2 玲珑金矿地质简图

1.第四系；2.中粗粒花岗岩；3.黑云母花岗岩；4.含榴浅色细粒花岗岩；5.钾长石斑状花岗闪长岩；6.煌斑岩脉；7.闪长玢岩脉；8.压扭性断裂；9.破头青断裂破碎带；10.含金矿脉；11.矿脉编号；12.产状；13.岩性界线

良好的绿泥石化。

第三节　西山108号脉金矿床金矿化期同位素年龄的确定

108号脉金矿床是玲珑矿田西山矿区的典型代表，它系含金硫化物叠加于含金石英脉之上复合而成的。其走向从西向东，由NEE转为NE，倾向NW，倾角75—85°，脉长5000m左右，沿倾向延伸700余米。

108号脉有发育良好的围岩蚀变带，其分带是石英脉矿体—硅化—绢英岩化（或黄铁绢英岩化）。108号脉成矿前期的热液蚀变表现为钾化，在矿区内分布广泛，是第Ⅰ成矿阶段即不含金矿阶段。而主要的含矿阶段在第Ⅲ和第Ⅳ阶段即主要矿化阶段。这阶段发育绢云母化、黄铁矿化、硅化、菱铁矿化。

我们在108号脉所取的绢英岩样品，如西山矿区230中段108号脉东缘第一个穿脉中的LET04、LET06号样品就是主矿化阶段的产物。样品的产地有明显的硅化、绢云母化、黄铁矿化并有绿泥石化叠加。大部分样品经处理后蚀变矿物绢云母相对集中，有时可高达81—95%，其余部分是蚀变生成的石英、黄铁矿或绿泥石。我们采集的一组共8个样品经测试后给出了玲珑西山矿区108号脉金矿主矿化期的同位素年龄（图4.3.1，表4.3.1）。

从图4.3.1和图4.3.2中可以看出，等时线的线性是相当好的，8个样品能组成这样好的等时线是难得的。鉴此应当肯定玲珑矿田存在100.74±3.58Ma这一主要金矿化期。较高的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比（0.71203）指示出，这次金矿化的物质来源是陆壳（至少是大量熔融了的陆壳），而不是幔源。

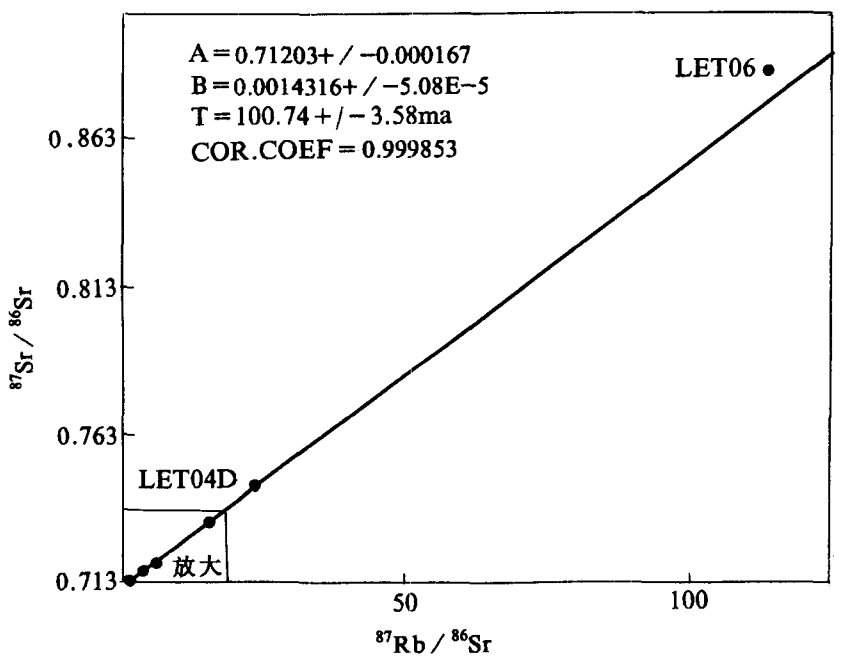


图4.3.1　玲珑西山矿区108脉金矿主矿化期Rb-Sr等时线

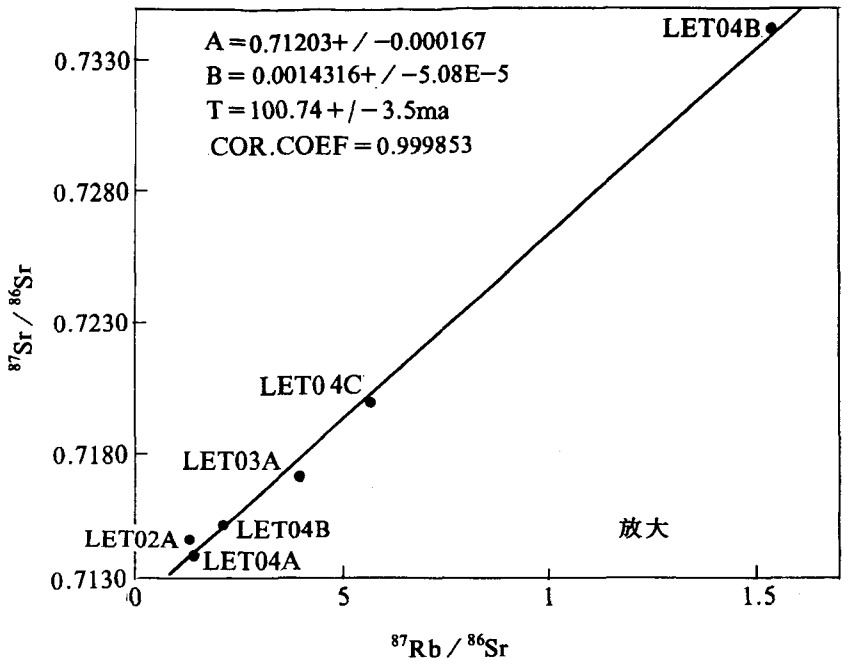


图 4.3.2　图 4.3.1 等时线放大部分

表 4.3.1　玲珑金矿西山矿区 108 号脉矿化绢英岩 Rb-Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
LET06	绢英岩中的蚀变绢云母	253.682	6.54	113.8780	0.886080±0.000036
LET04D	同上	285.411	35.07	23.5853	0.745402±0.000024
LET04B	同上	236.634	44.13	15.4572	0.734222±0.000031
LET04C	同上	188.439	94.41	5.7701	0.719927±0.000019
LET03A	同上	73.156	52.99	3.9902	0.717272±0.000039
LET04E	同上	223.044	310.55	2.0753	0.715094±0.000020
LET04A	同上	167.572	341.46	1.4010	0.713996±0.000019
LET02A	同上	167.225	362.41	1.3332	0.714600±0.000063

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比=0.712030±0．000167(2σ)
年龄=100.74±3.58Ma(2σ)
相关系数=0.999853
$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}/a$

第四节　东山矿区九曲金矿床金矿化期同位素年龄的确定

九曲金矿是玲珑矿田主要的金矿床，属东山矿区，有称玲珑金矿。矿体主要受 NNE 向、NE 向和 NEE 向控矿断裂系统控制。NNE 向断裂是区内断裂的骨架，是矿田的导矿构造。九曲断裂、九曲蒋家断裂和矿床关系最为密切。断裂带内蚀变普遍，成矿期有广泛的钾化，可见沿裂隙成网络状的钾化（照片 4.4.1）。钾化最发育的一组裂隙为 NE60—40°，倾角 45°。虽然 EW 向的一组裂隙不甚发育，但在局部团块状钾化很发育（照片 4.4.2）。

钾化与成矿作用关系密切，钾化对成矿有一定的控制和促进作用，一则钾可提高金属元素在矿液中的溶解度，参入组成金的载体——络合物；另外钾化可促使金从寄生的造岩矿物中解离出来参入成矿作用。

绢英岩在矿体的周围普遍发育，绢云母最先取代了更长石和黑云母，其次是微斜长石和微斜条纹长石，加入大量 Fe、Mn、Mg 和 H_2O，析出 Si、Al、Ca、Na、K，其中 Na、K 参入到成矿作用中，增强溶液对金的溶解和迁移。由于 Si 析出发生去硅作用，当改造强烈时形成单一成分的绢云岩；而当改造不甚强烈且有少量 SiO_2 加入时可形成绢英岩。岩石疏松，孔隙度大，可广泛发育成细脉浸染状的金矿石（附照片 4.4.3 玲珑矿田・东山矿区，玲珑矿床 206 中段 69 支脉的绢英岩化）。

绿泥石化在中基性脉岩中或在暗色矿物大量存在的围岩中时有发生。其常叠加于绢英岩化或钾化之上，或伴生存在（附照片 4.4.4，玲珑矿田东山矿区，玲珑金矿 206 中段 47 支脉的钾长石化和绿泥石化）。

碳酸盐化在玲珑金矿异常发育，可形成方解石、铁白云石和菱铁矿等。方解石呈细脉状，时常与石英、黄铁矿共生，它不仅是热液晚期阶段的产物，在主要的成矿阶段也有相当数量的方解石发育，故而可称为是一项重要的矿化标志。

玲珑金矿中的方解石一般为白色或灰色，个别为灰黑色。他形居多，少有自形半自形，透明度中等，个别的较好。在东山矿区，方解石与同阶段石英共结晶呈镶嵌结构。方解石时常与黄铁矿或其它微细的硫化物共生；可见到方解石与黄铜矿一起填充在石英洞中；方解石和细粒石英构成小脉更是随处可见。因为方解石处于以上的状态，所以我们在挑选方解石样品时，免不了有与其同时生成的石英、硫化物或绢云母的带入，造成了分析结果在等时线上脱离开了锁点的地位。

在玲珑金矿，金的富集部位附近方解石大量发育，有许多银、金矿与方解石共生，这说明碳酸盐化作用与金矿化有密切联系。在金的热液运移过程中，碳酸盐的阴离子团起到对硫络合物的保护作用。这些阴离子团的存在稳定了金硫络合离子团，一旦热液物化条件变化时沉淀出碳酸盐矿物同时对围岩发生碳酸盐化，热液中的 CO_3^{2-} 大量消耗，加快了金硫络合物的解离及金的沉淀。这说明了碳酸盐化作用与金矿化的同时性和密切性，亦即是我们取方解石样品作为 Rb-Sr 等时线中样品点的依据。

在玲珑金矿（九曲金矿），我们筛选了 5 个样品进行了年龄测定。从玲珑坑口进 206 中段 69 支脉，取了一个钾长石样品 LET-19D（见附钾长石化的照片），同一支脉以采集了绢英岩样品 LET-18（见附绢英岩化的照片），样品灰白至灰绿色，块状，镜下可见绿色片状的

绢云母集合体存在于被交代的长石晶形之中。绢云母和蚀变生成的石英、黄铁矿密切共生。在绢英岩的外围发育有钾化，表现为沿围岩花岗岩的解理裂隙中，钾化和绢英岩化呈逐渐过渡的关系。

方解石（样品 LET-19C）与石英、黄铁矿共生，成细脉状产出。方解石呈白色，他形。肉眼观察晶体不甚明显。加酸起泡并且硬度较软可与细小的石英脉或白云石脉区别开来。

我们挑选的方解石样品约含 20%的同生石英和少许的黄铁矿。从方解石的产状、穿插关系和矿物共生组合分析，它应是成矿阶段的产物。

方解石样品 LET-23，产出于九曲矿床的 130 水平 13 号脉之中，与石英、黄铁矿共同组成细脉沿裂隙侵入。与其临近的围岩有明显的钾长石化和绢英岩化。由于方解石样品中含有石英、黄铁矿和部分的绢云母，故使其在等时线上的落点离开锁点位置而居于等时线的中下部。该样品的岩性、产出与 LET-19C 相似，区别之处是有较多的绢云母混入。当是主矿化阶段的产物。

绿泥石样品 LET-26A，产出于九曲矿床 130 水平 47 支脉的 68 南穿脉之中。绿泥石化叠加于钾长石化之上，与煌斑岩、辉绿岩近邻。这些基性岩脉或变质岩残留体中的暗色矿物如黑云母、角闪石、辉石发生蚀变后均可发生绿泥石化而产生条带状或块状的叶绿泥石。叶绿泥石为暗绿色，极完全解理，硬度低。

以上 5 个样品经测试分析之后给出了“玲珑矿田东山矿区九曲金矿床主矿化期同位素年龄 Rb-Sr 等时线”（图 4.4.1，表 4.4.1）。

111.38±2.81Ma 同位素年龄即是东山矿区一次主矿化期的年龄，与西山矿区蚀变绢云母形成的时代有些差别，但大体上应属一次矿化，($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比值说明了物质来源是相同的。

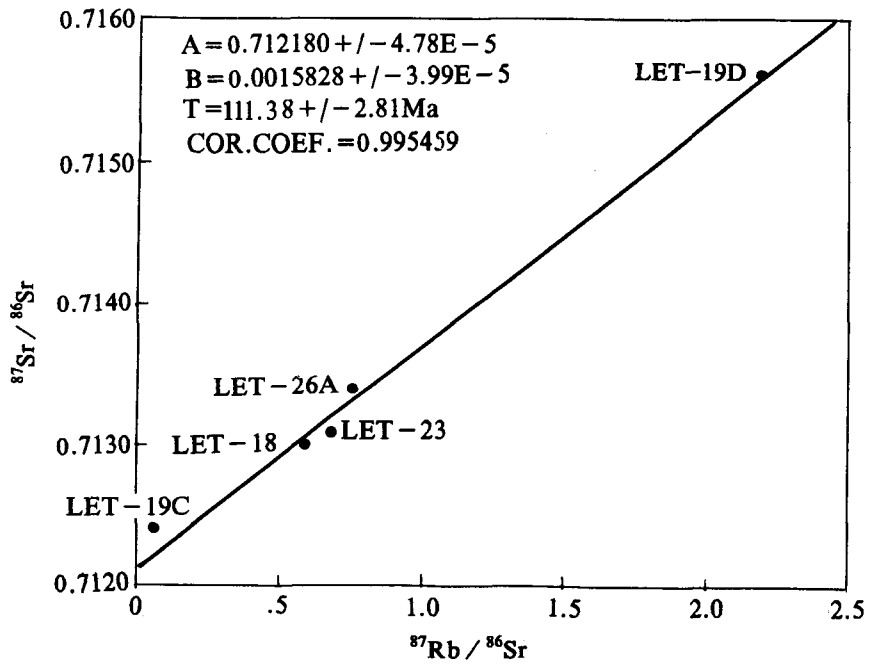


图 4.4.1　玲珑矿田东山矿区九曲金矿床主矿化期同位素年龄 Rb-Sr 等时线

表 4.4.1　玲珑矿田东山矿区九曲金矿床主矿化期同位素年龄 Rb-Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
LET-19D	钾长石	347.141	457.90	2.1907	0.715588 ± 0.000050
LET-26A	绿泥石	147.020	558.50	0.7605	0.713390 ± 0.000067
LET-23	方解石	177.462	750.14	0.6835	0.713077 ± 0.000040
LET-18	绢英岩中的绢云母、石英	87.359	428.68	0.5887	0.712993 ± 0.000033
LET-19C	方解石	19.433	1025.24	0.0548	0.712403 ± 0.000010

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比 = 0.712108 ± 4.78×10^{-5}(2σ);
年龄 = 111.38 ± 2.81Ma(2σ);
相关系数 = 0.995459;
$\lambda^{87}Rb = 1.42\times10^{-11}/a$。

第五章　灵北矿田灵山沟金矿床主矿化期同位素年龄的确定

第一节　地质概况

灵北矿田是招掖金矿带的中西部矿田，位于黄县–掖县和招远–平度两个区域性弧形断裂带之间的灵山沟–北截断裂带的南段。矿田受灵山–北截断裂控制，断裂带破裂现象较弱，主断裂带既导矿又容矿。主断裂带中矿化分段富集，带内矿化兼具硫化物网脉带和石英硫化物复合脉二种类型。

在断裂带上，自南西向北东，等间距分布着灵山沟、魏家沟以及北截等几个金矿床。灵山沟矿床是断裂带上开采最早的矿床，对它的研究颇具代表性。

第二节　围岩蚀变

灵山沟矿区普遍呈现钾化现象，有明显的强度分带，越近矿体钾化越强，出现团块状面型钾化，钾长石晶体变得粗大(附照片 5.2.1，灵山矿区，团块状面型钾化)。在矿体最近处的围岩不再具花岗岩特征，以团块状钾长石为主。围岩中的胶东群残留体已因蚀变分解而完全消失，金矿体一般均在钾化强烈地带附近。钾长石化是围岩在含矿热液作用下，K、Na、Al、Si 等活动组分变化迁移的结果，它记录了含矿热液早期活动的年龄。

灵山沟矿区绢英岩化不甚发育。矿体的围岩是玲珑花岗岩(李兆龙、杨敏之测定为 195 ± 1.4Ma)，岩体内大量的胶东群残留本在金矿化的过程中发生蚀变，矿化过程中 Cr 的活动较强，使矿体中出现块状到短脉状的络云母。络云母呈翠绿色。从有关学者列出的化学成分表中可看到，Cr_2O_3 含量高达 2.00%，是目前胶东地区含量最高的。铬云母生成于含金极高的石英黄铁矿阶段，而在其它四个成矿阶段即钾化、硅化、多金属硫化物和碳酸盐化等阶段则很少见到。铬云母与成矿关系密切并具有一定的成因意义。

第三节　主矿化期同位素年龄的测定

由于灵山沟矿区绢英岩化不发育，给取样工作带来难度。我们经过反复考察和筛选，依据钾化强烈及其独有的蚀变矿物铬云母之特点，分别采集了两个钾长石(图 5.3.1)，另外两个铬云母样品，其产出情况见附照片 5.3.1。照片中圆珠笔所指之处为铬云母。样品采集地点为灵山沟金矿–50m 中段距坑口 250m 处(图 5.3.2)。

四个样品经测试后，获得了“灵山沟金矿主矿化期 Rb–Sr 等时线”(图 5.3.3，表 5.3.1)。

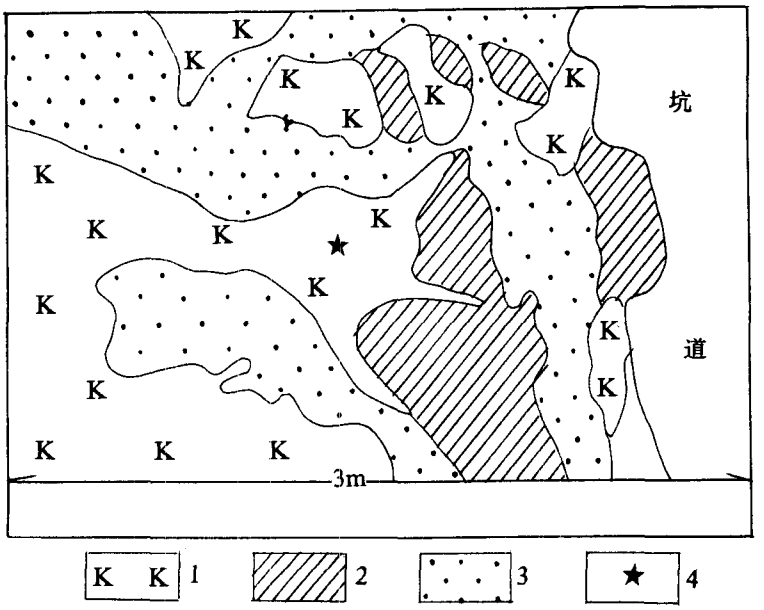


图 5.3.1　灵山沟金矿-50 中段 250m 处 LT07 钾长石采点素描图

1.钾长石化岩石；2.绿泥石化岩石；3.斜长石、石英组成的岩石；4.取样点

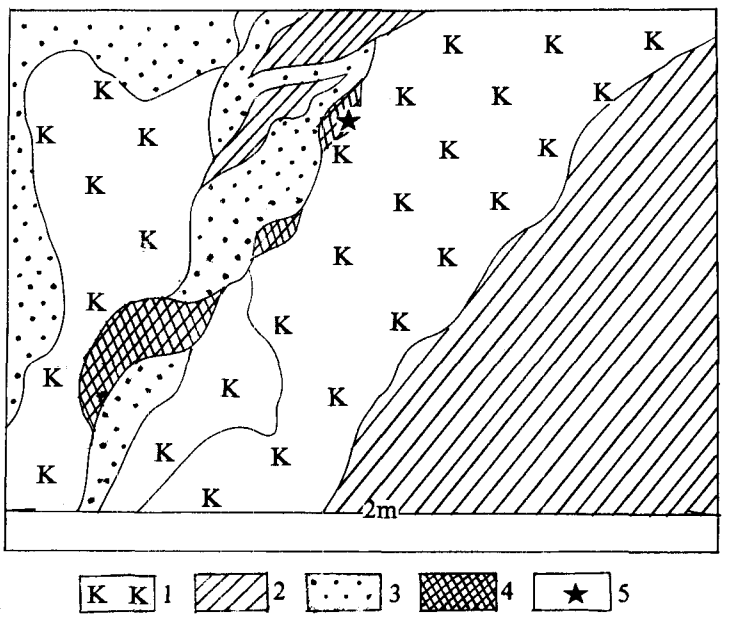


图 5.3.2　灵山沟金矿-50 中段 LT05 铬云母采点素描图

1.钾长石化岩石；2.绿泥石化岩石；3.斜长石、石英组成的岩石；4.络云母；5.采样点

从图 5.3.3、表 5.3.1 中，我们可以看到，由钾长石的 2 个样品（LT04、LT07）和铬云母的 2 个样品（LT05B、LT05A）构成的等时线，其线性相当好，年龄误差为 ± 4.24Ma，相关系数 ＞0.99。本研究给出的灵山沟金矿的主矿化期的年龄为 188.94 ± 4.24Ma，应该是招-掖金矿带至今为止测出最早的一次金矿化时代。

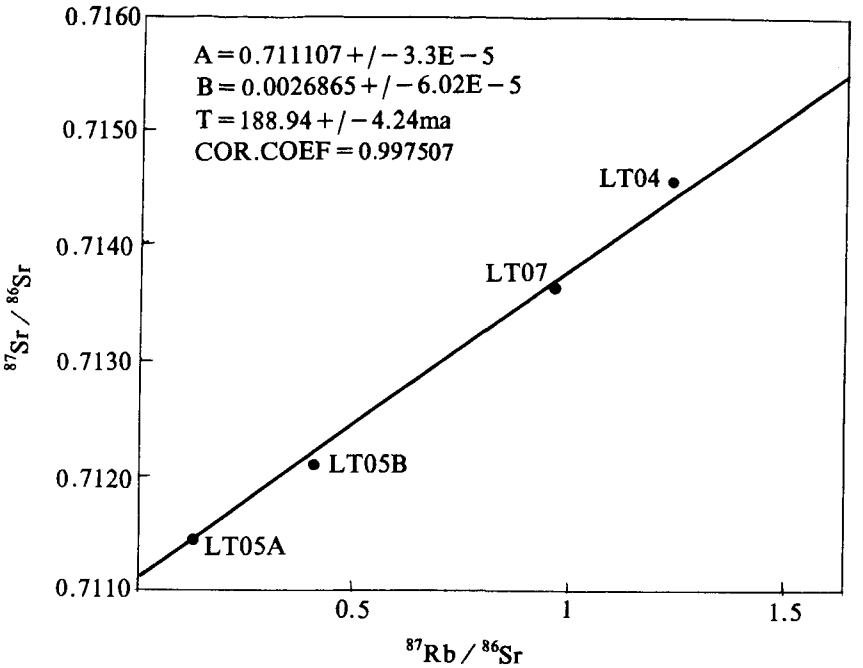


图 5.3.3　灵山沟金矿主矿化期 Rb–Sr 等时线

表 5.3.1　　灵山沟金矿成矿期 Rb–Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	($^{87}Rb/^{86}Sr$)	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
LT04	钾长石	229.331	535.32	1.2378	0.714582±0.000033
LT07	钾长石	186.310	556.31	0.9671	0.713633±0.000024
LT05B	铬云母	220.270	1559.89	0.4080	0.712104±0.000024
LT05A	铬云母	81.783	1901.25	0.1243	0.711463±0.000012

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比=0.711107±3.3×10^{-5}(2σ);

年龄=188.94±4.24Ma(2σ);

相关系数=0.997507;

$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}/a$.

第六章　焦新矿田界河金矿成矿期同位素年龄的测定

焦新矿田位于灵北矿田之西，因为它集中了几个有名的金矿床，如：焦家、新城、望儿山以及后起之秀界河金矿，而在招-掖成矿带居于举足轻重的位置。

产于郭家岭花岗闪长岩破碎蚀变带中细脉浸染型的界河金矿，曾因其独有的特征被认为是一种新类型而展开过专题研究①。为了配合焦新矿田的进一步开拓，我们选择了界河金矿作为研究的重点。

第一节　地质概况

界河金矿居于焦新矿田的北部，受新城-焦家断裂及其分支断裂控制。它的围岩是上庄岩体，属郭家岭花岗闪长岩系列。上庄似斑状黑云母花岗闪长岩，呈岩株侵入于玲珑片麻状花岗岩中。岩体以含巨大的钾长石斑晶为特征。据资料，上庄岩体的 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 119.80±1.6Ma；($^{87}Sr/^{86}Sr$)，初始比为 0.71159±0.000303；以此分析，认为其形成应与中生代地台活化，基底变质岩及混合岩的断裂重熔再生有关。该岩体与金矿密切相关。

第二节　围岩蚀变

以断裂中充填细脉状粘土质矿物为代表的构造-蚀变岩带在界河金矿异常发育，厚度 0.05—0.2m 不等，颜色灰—灰黑色，泥质结构，主要以粘土化产出，在构造-蚀变岩带中同时存在绢云母化、硅化和黄铁矿化。正因此，除大量的粘土矿物外尚含有绢云母、石英、黄铁矿。粘土矿物沿主断层平行的小断裂时有充填，断层泥本身已矿化，作为金矿石的组成部分。

以黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩组成的构造-蚀变岩带是该矿床矿化最为富集的地段。岩石为深灰绿色。岩石呈碎裂结构，网状构造。以黄铁绢英岩化为主间或有硅化和钾化。蚀变矿物以绢云母、石英、黄铁矿为主。矿化为细脉浸染状，较富。

钾长石化组成的构造-蚀变岩带分布在矿体的最外带，紧靠围岩郭家岭花岗闪长岩。钾长石化对称分布，绿泥石化带叠加其上。

第三节　主矿化期同位素年龄的测定

我们的考察和采样工作集中在地质现象展示最全，最具代表性的-56m 中段第 421-2 线的穿脉上。从穿脉的开始处到穿脉尽头主断层的断层泥，全长 52m。花岗岩因受矿化蚀

①陈光远，孔庆存等，灵山沟金矿找矿矿物系研究，1990.

变退色后呈灰白色，岩石碎裂，小的裂隙错动随处可见，灰黑色的粘土类矿物呈泥状充填其中，泥状物以绢云母为主，次为伊利石、高岭土。泥状充填物中含有蚀变形成的石英、黄铁矿。其本身已矿化，是矿石的组成部分。采取泥状的粘土类矿物(JT-13)，挑选其中粘土类矿物最集中的部分，经处理、筛选出绢云母和伊利石进行测试。

郭家岭花岗闪长岩，遭强烈蚀变后发生绢云母化、绢英岩化、硅化、黄铁矿化和钾化。由于矿化的多次活动，钾长石化临近花岗岩最近处发育呈伟晶结构、块状构造的钾长石化。钾化在破碎矿化较强的构造蚀变带中也多有叠加，沿破碎裂隙呈脉状或团块状产出。在矿化富集地段，上述各种蚀变产生的黄铁矿、石英、绢云母、绿泥石等共同组成矿石。我们在此采集矿化蚀变彻底改造后的"矿化郭家岭花岗闪长岩"(JT-09、JT-08、JT-05)进行年龄测定。

钾长石化在界河金矿较为发育，钾化本身可产生星点状弱矿化。蚀变矿物钾长石系矿化早期或主要矿化期的产物。我们亦采集了钾长石2个样品(JT-04、JT05)进行测定。

以上6个样品经反复测检测后，得出了"焦新矿田界河金矿成矿期 Rb-Sr 等时线"(图6.3.1、表6.3.1)。

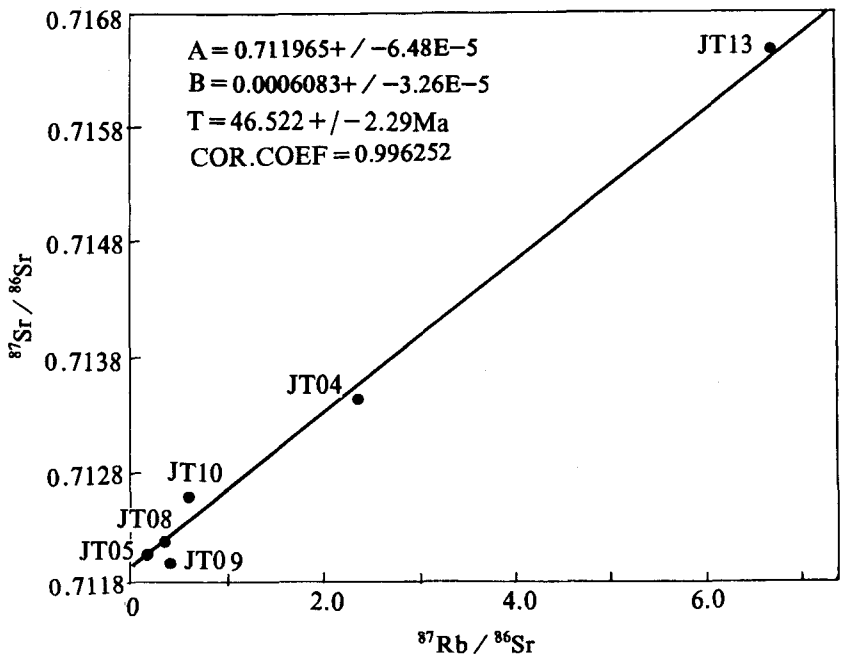


图.6.3.1 焦新矿田界河金矿成矿期 Rb-Sr 等时线

等时线的下部样品落点较为集中，若除去最高点 JT-13 后，其余5个样品进行回归分析，则年龄值为44Ma，相关系数稍有下降。

6个样品给出的等时线年龄是可信的，说明郭家岭花岗闪长岩中产出的这一新型金矿床，成矿时代较年轻，应属喜山期，它的生成很可能是胶西北最晚的一次金矿热液成矿作用。

招-掖金矿带在新生代老第三纪曾有栖霞玄武岩形成，直到目前栖霞地区尚属地震活动构造带。这都是该区喜山期构造岩浆活动的依据。它可以使其后期含矿热液经过构造有

利部位，在一定的物理化学环境下形成年轻的金矿床。

表 6.3.1　焦新矿田界河金矿 Rb–Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	($^{87}Rb/^{86}Sr$)	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
JT–13	粘土矿物	337.922	145.02	6.7341	0.716451±0.000046
JT–04	钾长石	337.303	407.26	2.3928	0.713408±0.000036
JT–10	钾长石	128.808	603.89	0.6162	0.712575±0.000024
JT–09	矿化蚀变岩	88.993	648.36	0.3965	0.711990±0.000043
JT–08		58.108	643.09	0.3625	0.712185±0.000038
JT–05		43.035	71.02	0.1655	0.712026±0.000020

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比＝0.711965±6.48×10^{-5}(2σ)；

年龄＝46.522±2.290Ma(2σ)；

相关系数＝0.996252；

$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}/a$。

第七章　胶东乳山金矿矿化阶段同位素年龄的研究及测定

胶东牟平—乳山地区盛产高硫石英脉型金矿，近年来探明并开采的大型金矿——乳山金矿颇受国内外专家关注。我国先后有不少科研和生产单位在此进行了大量的金矿地质研究及找矿勘探工作，成绩斐然①。研究程度越来越高。但是，涉及本区年代学工作过去仅仅集中在地层和侵入体方面，而对矿化年龄的研究及测定尚属空白。随着实践和理论的循环推进，乳山金矿矿化年龄的研究及测定已刻不容缓。鉴此，我们把胶东东部的工作重点就放在了这个引人注目的研究区。

第一节　地质概况

乳山金矿床地处胶东东部牟平—乳山金矿带中部的金青顶—三甲断裂上；在胶东东部文登隆起的西侧，昆嵛山倒转背斜的核部乳山花岗岩中。东界将军石断裂，西临金牛山断裂(图 7.1.1)。

该矿床受 NNE15° 和 NE65° 两组断裂复合控制，构造控矿比较典型，构造连续性好。在乳山金矿的南北两侧，沿金青顶—三甲断裂依次等距(2km 左右)出现叉尖子、福禄地、双山子和闭牛山等金矿床。其中双山子金矿床隶属乳山金矿。

乳山金矿床以简单脉状产于乳山花岗岩的断裂中，平面上矿体呈反"S"型。矿体产状陡倾，与围岩界限清楚，矿体围岩蚀变发育完好，分带性明显。矿体及蚀变带南北长 1100m，延深 739m 尚未见底。乳山金矿区内北东向构造是主干构造，展布方向大致为 NE40—50°，它控制了矿液的运移，成矿物质的富集及矿体的赋存。近南北向构造是主干构造的分支，它是储矿构造。乳山金矿属岩浆期后中温热液黄铁矿石英脉型金矿床。

第二节　围岩蚀变

乳山金矿是一大型金矿，属高硫石英脉型，其围岩是昆嵛山花岗岩。由于花岗岩中发育的控矿构造断裂且其断裂多次活动，致使成矿早期，热液沿控矿构造破碎裂隙密集带运移扩散，首先使昆嵛山花岗岩产生钾长石化。石英脉和裂隙两侧的花岗岩中黑云母消失，岩石变为肉红色或暗红色(照片 7.2.1：乳山金矿双山子金矿区围岩钾长石化)。斜长石呈绢云母化，碳酸盐化的假象，所呈弥散状或絮团状的三价铁矿物质点经污染则形成"红化"。

钾长石化时形成的钾长石分布在紧靠花岗岩的矿化外接触带，本身不具矿化，它是矿化前期含矿热液活动的产物。

绢英岩化是紧靠钾长石化带而产出的。长石类矿物受含矿热液的作用发生蚀变产生绢

①邵伟，山东省东部牟平地区(金牛山断裂带地区)金矿成因矿物系与找矿矿物系研究，1991.

云母。因为此时释放出 Kr, Na, Ca, (Mg, Fe) 离子，产生游离的 SiO_2，进一步产生绢英岩化或黄铁绢英岩化。这一时期黄铁矿、绢云母、石英及其它一些金属硫化物共同组成矿石，是主要矿化期(照片 7.2.2: 乳山金矿中的绢英岩化带)。

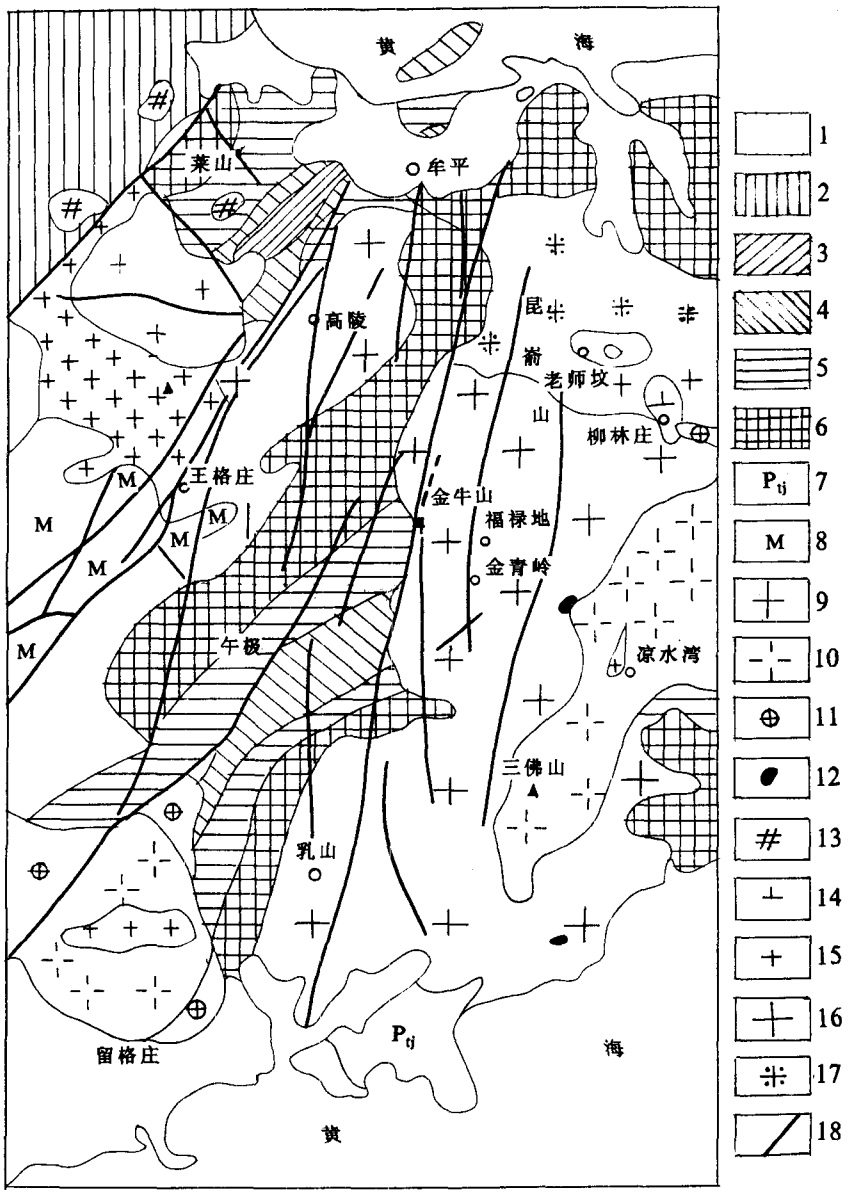


图 7.1.1　牟平—乳山地区地质略图

1.中生界—新生界；2.粉子山群；3.胶东群桃林组；4.胶东群徐村组；5.胶东群样山组；6.胶东群莱山组；7.胶东群(未分)；8.糜棱岩化混合岩；9.花岗岩($\gamma_5^{2(2)a}$)；10.密斑二长花岗岩($\gamma_5^{3(1)c}$)；11.似斑状二长花岗岩($\gamma_5^{3(1)b}$)；12.细粒辉石闪长岩($\nu\sigma_5^2$)；13.伟晶岩($\rho\gamma_2$)；14.角闪黑云石英二长岩($n\varphi_2$)；15.中细粒花岗岩(γ_2^{bx})；16.中粗粒花岗岩(γ_2^{bc})；17.细粒含石榴石花岗岩(γ_2^a)；18.断裂

绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化不成独立的蚀变带，只叠加于钾长石化和绢英岩化等蚀

变带之上．在长石的绢云母化和帘石化过程中(和黑云母的绿泥石化时)释放出钙、镁离子与热液中的 CO_2 结合而生成碳酸盐．随着蚀变增强，整体上表现为 Na_2O 明显减少，Fe_2O_3 和 FeO 也略有减少；CaO、MgO 和 CO_2 有所增加．在绢英岩带 H_2O 和 CO_2 明显增加；S、As、Au(Ag)、Cu 等在黄铁矿石英脉中突然升高．以这些现象来看，本质上，含金石英脉的围岩蚀变是岩石在含 H_2O、CO_2 和成矿元素的热液作用下发生水化和碳酸盐化的结果．因此，碳酸盐化往往标志着一次矿化活动的结束．绿泥石化则是角闪石和黑云母发生所产生的．它反映了 Ka，Na，Ca，Mg，Fe 活动比较强烈．(照片 7.2.3：乳山金矿，碳酸盐化产生的方解石；照片 7.2.4：乳山金矿；绿泥石化产生的绿泥石)．

第三节　矿化阶段同位素年龄的确定

一些科研单位对乳山金矿的矿化分期，不同成矿阶段都进行过研究，除个别矿化阶段的看法稍有区别外，基本上观点是一致的．我们根据野外工作，认为岩石裂隙生成时使岩石破碎，热液的活动使之产生硅化、钾长石化，这是金矿体围岩蚀变的最外带，分布比较广泛，岩石为深肉红色—肉红色，长石以微斜长石为主，微斜长石是此带的主要组成矿物．其它蚀变矿物有绢云母、石英、绿帘石等．

钾长石化带有时是铁染的斜长石或被交代的长石假象，并非钾长石，称之谓"红化"．

乳山金矿双山子矿区-50 段第 60.9 线 RT10 采样点是此带的典型代表(图 7.3.1)．

紧靠钾长石化向矿体的一方是含粗粒自形黄铁矿的石英脉，此带(黄铁硅化带)中含大量完好的黄铁矿晶体，但它和钾长石化带一样构成具工业价值的矿床．这两个带有人称之为前期矿化，蚀变矿物钾长石、石英、绢云母、黄铁矿等是第一、二矿化阶段的产物，亦为钾质热液高温交代的结果，代表了最早期矿化时间．

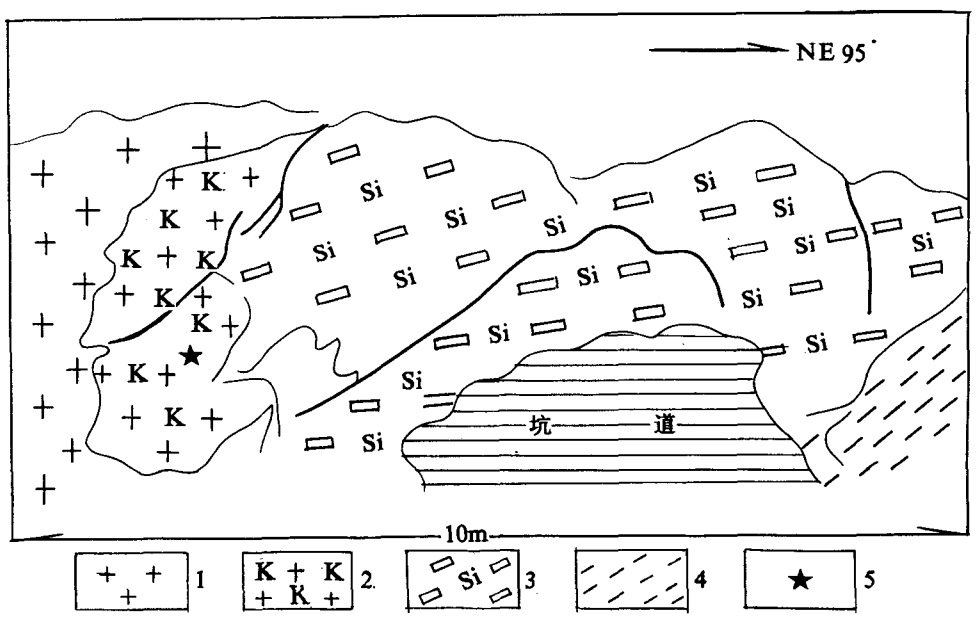


图 7.3.1　RT10 采样点地质素描图

1.昆嵛山花岗岩；2.钾长石化岩石；3.粗粒自形黄铁矿石英脉；4.绢英岩化岩石；5.采样点．

我们在钾长石化带取了 5 个样品，都以微斜长石为主，含少量蚀变矿物石英或绢云母。测试后得出“乳山金矿钾长石化蚀变岩 Rb–Sr 等时线”，提供的同位素年龄当是乳山金矿早期金矿化的地质年代(图 7.3.2、图 7.3.3、表 7.3.1)

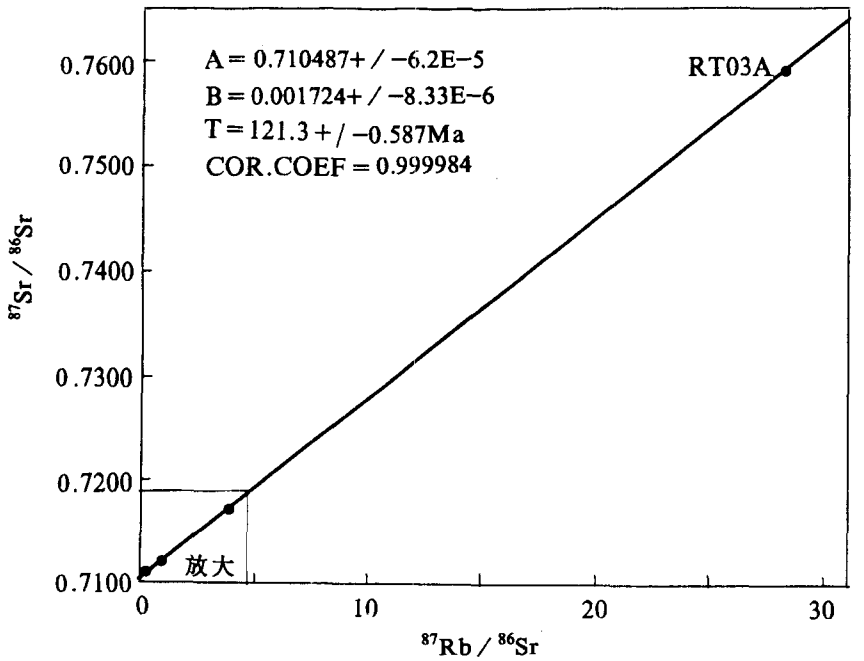


图 7.3.2　乳山金矿钾长石化花岗岩带蚀变矿物 Rb–Sr 等时线

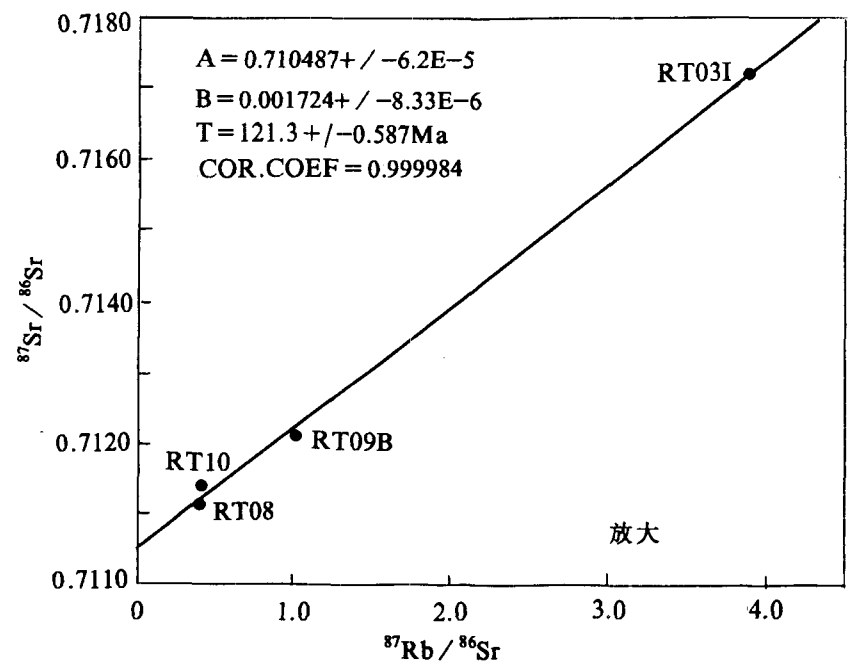


图 7.3.3　乳山金矿钾长石化花岗岩带蚀变矿物 Rb–Sr 等时线(放大部分)

表 7.3.1　乳山金矿钾长石化花岗岩带蚀变矿物 Rb–Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb (10^{-6})	Sr (10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
RT–03A	钾长石	624.285	64.12	28.7535	0.759184±0.000064
RT–03I	钾长石	297.445	221.83	3.8753	0.717203±0.000035
RT–09B	钾长石和绢云母	29.457	84.38	1.0084	0.712099±0.000039
RT–10	钾长石	8.079	56.82	0.4107	0.711391±0.000056
RT–08	钾长石	20.641	148.44	0.4016	0.711151±0.000039

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比＝0.710487±0.000062(2σ)；

年龄＝121.300±0.587Ma(2σ)；

相关系数＝0.999984；

$\lambda^{87}Rb = 1.42\times10^{-11}/a$。

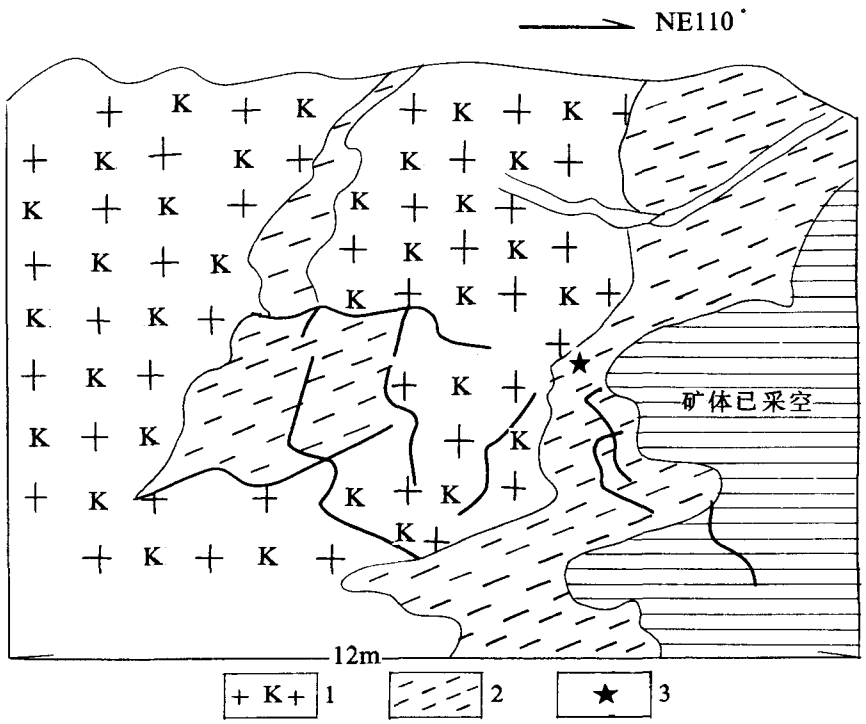


图 7.3.4　TR05 样品采点地质素描图

F1.钾长石化花岗岩；2.矿化绢英岩；3.采样点

在紧靠上述两带向矿体方向则是黄铁–绢英岩化带，此带中黄铁矿变成了细粒，自形、半自形和石英一起组成脉状充填在破碎带中。岩石已绢英岩化成为矿石的组成部分。这一阶段是本区较为主要的成矿阶段，其表露的现象比较普遍。此带岩石呈肉红色—粉灰色，偶见灰白或略带绿色。丝绢光泽。为鳞片状变晶结构。蚀变矿物主要有绢云母、石英，次之为绿泥石、绿帘石，绝大部分绢云母由长石类矿物蚀变形成。由于在同一空间构造多次活动，造成含矿热液多次脉动式的充填，浸染状的含金黄铁矿或含金石英和绢云母、长石以及菱铁矿等共同组成矿石。有人把黄铁矿绢英岩化阶段之后又分出来菱铁矿石英脉矿化阶段和多

金属硫化物石英脉阶段。这三个阶段是乳山金矿的主要矿化阶段。

我们在矿化绢英岩中取了蚀变矿物一组 4 个样品(图 7.3.4),测得"乳山金矿矿化绢英岩 Rb-Sr 等时线"(图 7.3.5、表 7.3.2),它给出的年龄当是乳山金矿主要金矿化阶段的年龄。

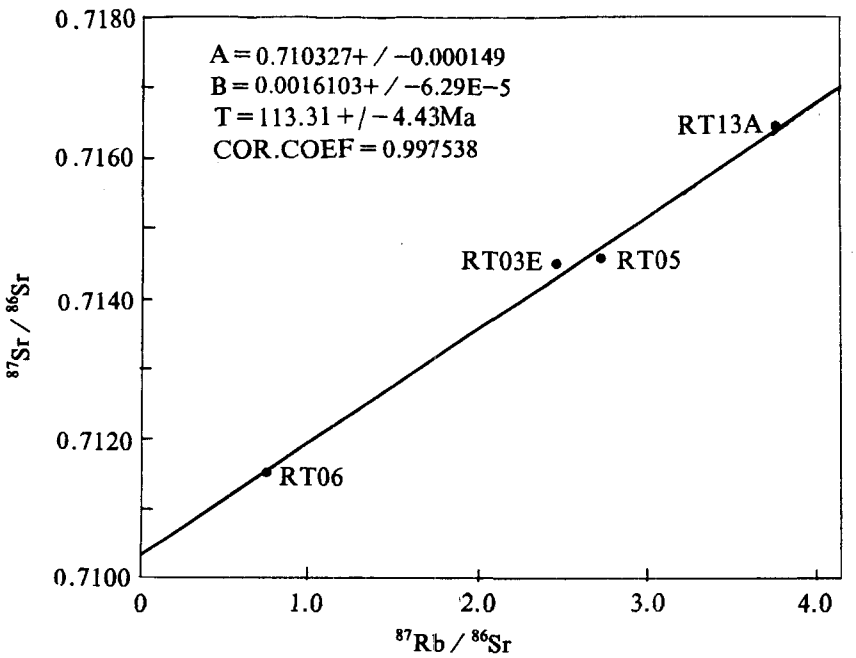


图 7.3.5 乳山金矿矿化绢英岩 Rb-Sr 等时线

表 7.3.2 乳山金矿矿化绢英岩 Rb-Sr 等时线一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
RT-13A	矿化绢英岩	304.198	232.75	3.7771	0.716450±0.000050
RT-05	矿化绢英岩	55.741	58.86	2.7361	0.714564±0.000038
RT-03E	矿化绢英岩	113.869	132.62	2.4809	0.714500±0.000041
RT-06	矿化绢英岩	68.202	265.52	0.7420	0.711517±0.000032

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比=0.710327±0.000149(2σ);

年龄=113.310±4.430Ma(2σ);

相关系数=0.997538;

$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}/a$.

乳山金矿的最后矿化阶段是碳酸盐化阶段。在此阶段同时发育了绿泥石化、绿帘石化。后者不独立成蚀变带,而是叠加在其它蚀变带之上,时间早晚不一。我们在矿区采集了晚期蚀变生成的绿帘石或绿泥石(因为它们往往切穿主要矿体,有的在切穿主矿体之后自身又被矿化,所以说它至少是比较晚期的矿化产物)。方解石是碳酸盐化阶段的产物(我们排除了早期生成的方解石,它的产状不同于碳酸盐化阶段的方解石)。因为纯的方解石本身不含铷,产生不了放射性生成的^{87}Sr,所以它的($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代比值应在等时线截距的附近,我们称为"锁点"。实测证明,方解石的落点和截距基本相同。这也说明:包括方解石在内的该组样品在这阶段矿化形成时已达到了锶的均一化。该组 5 个样品经过测定后得出了"乳

山金矿绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化岩石 Rb–Sr 等时线(图 7.3.6)。

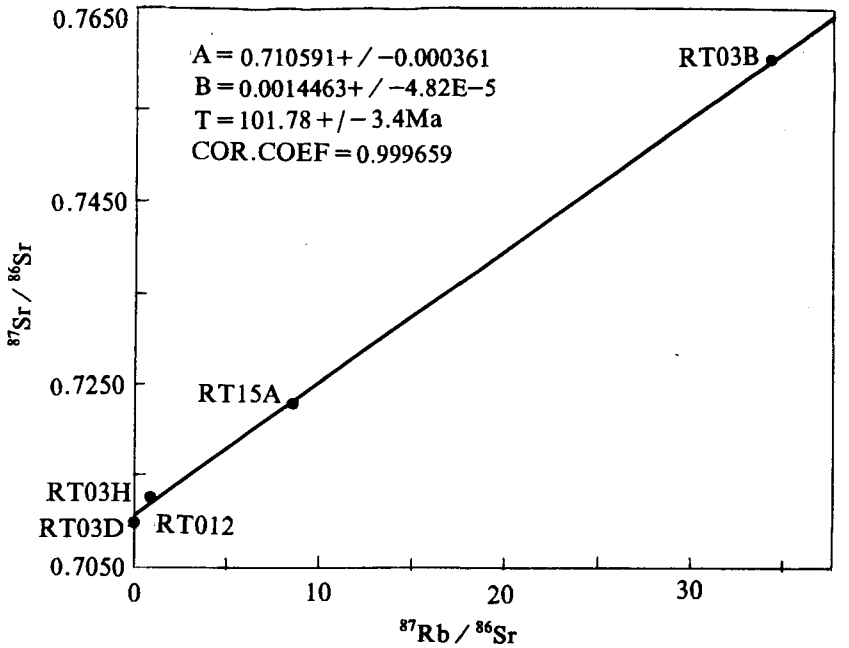


图 7.3.6 乳山金矿绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化岩石 Rb–Sr 等时线

同样,列出了乳山金矿绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化岩石 Rb–Sr 等时线数据。

表 7.3.3 乳山金矿绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化岩石 Rb–Sr 等时线数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
RT–03B	绿帘石化岩石	243.462	20.58	34.3403	0.760628±0.000100
RT–15A	绿帘石化岩石	227.316	76.91	8.5463	0.722636±0.000040
RT–03H	绿帘石化绢英岩化岩石	86.640	277.35	0.9024	0.712670±0.000036
RT–12	绿泥石化岩石	19.434	414.86	0.1353	0.710072±0.000058
RT–03D	方解石	2.664	2095.86	0.0037	0.710277±0.000037

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比=0.710591(2σ);
年龄=101.780±3.400Ma(2σ);
相关系数=0.999659;
$\lambda^{87}Rb = 1.42\times10^{-11}/a$。

第四节 小 结

综上所述,乳山金矿的一次矿化作用(或分两期矿化,五个成矿阶段),我们测出它的早期矿化年龄为 121.300±0.587Ma;中期矿化年龄(主矿化期)为 113.310±4.430Ma;晚期矿化年龄为 101.780±3.400Ma。可以说,这三条 Rb–Sr 等时线样品的落点是合理的,其相关系数都在 0.99 以上,年龄误差仅在 0.5—4.4Ma 范围。从而不难分辨出早期与晚期矿化的

时间间隔可达 20Ma。由于年龄误差如此之小，所以虽然是一次矿化作用却完全能甄别出不同矿化阶段的年龄，这些年龄值在最大的误差尺度内亦不重合。

显然这种阶段矿化年龄的厘定，对于元素的运移、矿床的成矿过程的区分，都是有实际地质意义的。

正如我们在第三章第三节所述的原则那样，若把一次矿化中各个矿化阶段形成的蚀变矿物作为一个大的封闭体系来处理，即把乳山金矿所有的样品都参加回归分析。那么则获得一个新的 Rb–Sr 等时线(图 7.4.1、图 7.4.2)。

从图 7.4.1、图 7.4.2 给出的同位素年龄(112.31 ± 3.31Ma)与矿化绢英岩 Rb–Sr 等时线给出的年龄(113.31 ± 4.43Ma)基本上是一致的。

这里必须指出，参加等时线拟合的各矿化阶段样品件数要相当，权要均衡。否则拟合的等时线将与主矿期产生偏离。

我们认为，给出的这组年龄是牟平–乳山地区最为主要的一次成矿作用时间。牟–乳地区呈 NE 向的四条储矿断裂(即：牟—乳断裂、桃村断裂、下雨村断裂和金牛山断裂)形成的时间应是燕山期(约 121Ma)。三条等时线给出的($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比在 0.710320—0.710591 之间，它反映了矿源物质皆来自陆壳而不是幔源。

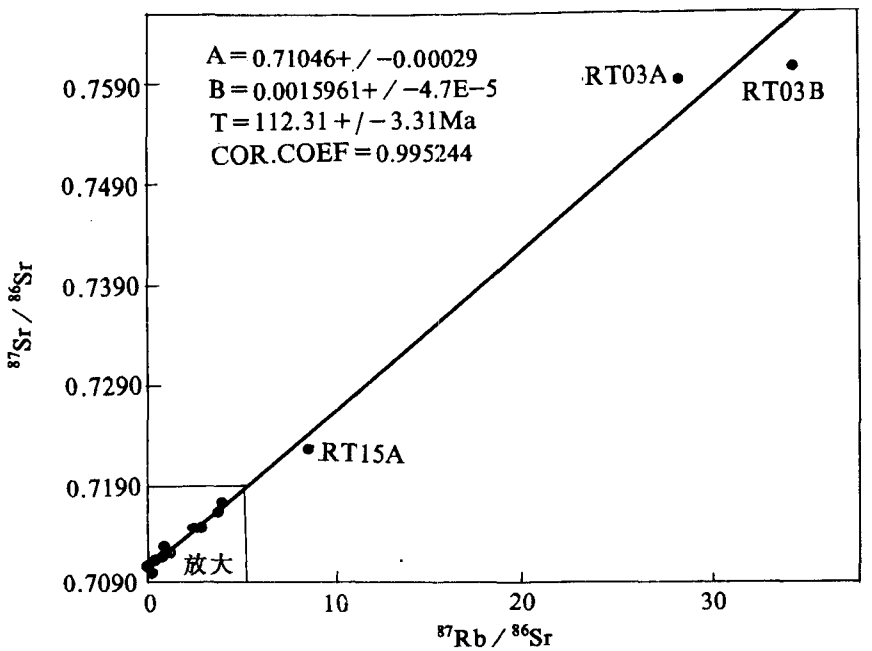


图 7.4.1　胶东乳山金矿主矿化期同位素年龄 Rb–Sr 等时线

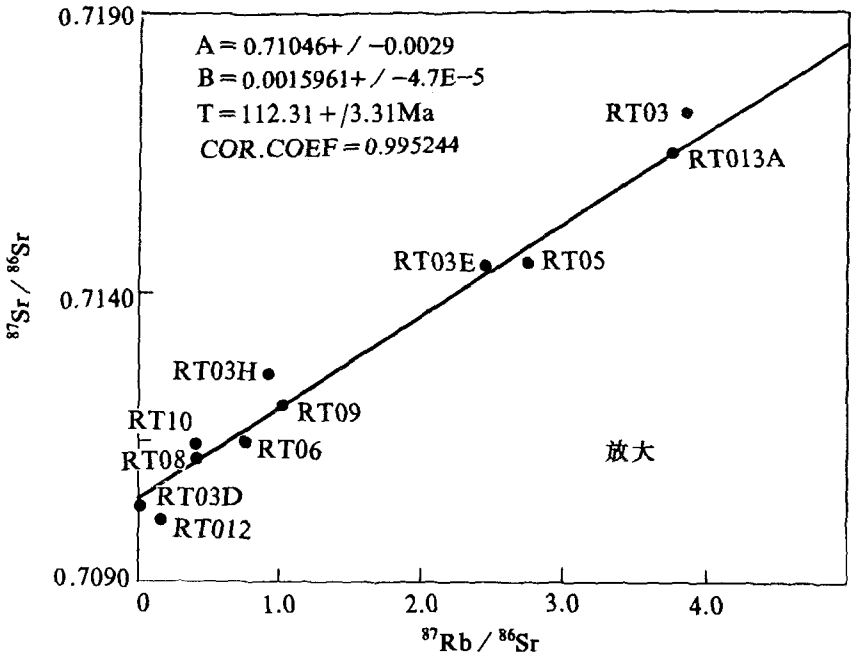


图 7.4.2　胶东乳山金矿主矿化期同位素年龄 Rb–Sr 等时线(放大部分)

第八章　胶东栖霞马家窑金矿成矿期同位素年龄的确定

蓬莱—栖霞金矿带在胶东的中部，是胶东主要产金区之一。该金矿带南部分布了栖霞、流口、山城、百里店、金冠顶等金矿床，它们是产于变质岩内的金矿成矿系列的代表性地区。

第一节　地质概况

栖霞金矿位于胶东栖霞县境内，距马家窑 1.5km，故又称马家窑金矿。栖霞金矿 1 号脉组是现开采中规模最大的一个含金石英脉。

地质上，栖霞金矿在栖霞复背斜轴部北翼胶东群中，直接围岩是胶东群蓬莱组角闪黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩及白云母片岩。

区内最大的断裂构造为马家窑—上庄头断裂，走向 NNE，产状 40° ∠79° 。断裂多次活动，含金石英脉充填在与主断裂斜交的 NNW 向断裂之中(图 8.1.1)。

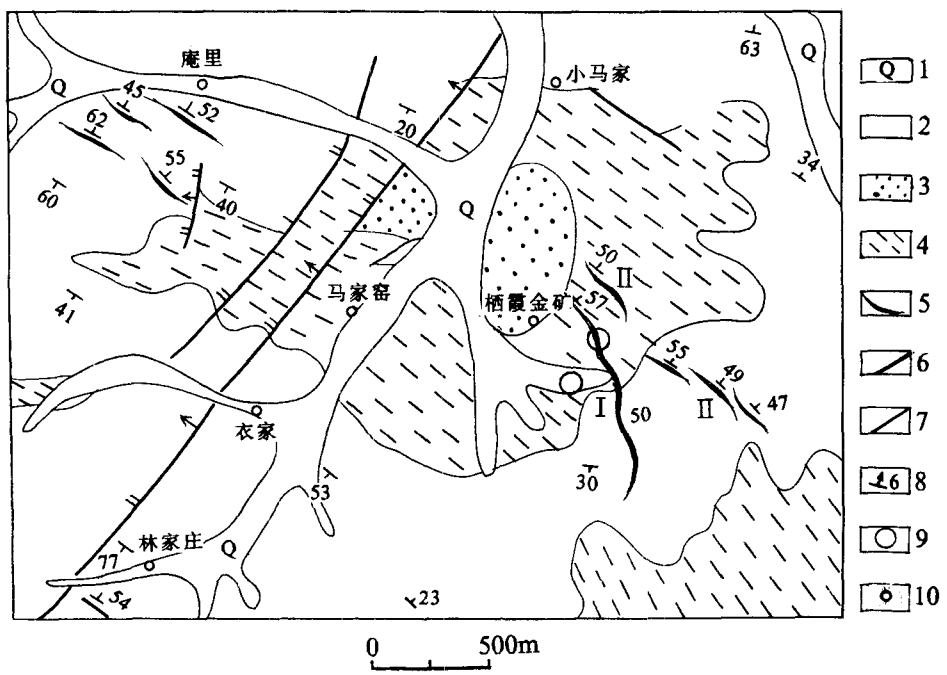


图 8.1.1　胶东栖霞金矿矿区地质简图(据陈光远等，1989)

1.第四系河流沉积物；2.胶东群角闪黑云斜长片麻岩；3.胶东群黑云变粒岩及白云母片岩；4.胶东群斜长角闪岩；5.含金石英脉及产状；6.马家窑—上庄头断裂；7.性质不明断裂；8.地层产状；9.狗头金发现位置；10.村庄

第二节　围岩蚀变

在成矿过程中，矿脉两侧的围岩由于受含矿热液的影响发生了不同程度不同类型的蚀变。由于栖霞金矿是复式脉，使得各阶段的蚀变作用相互叠加。总之，大体上分以下几个蚀变。

钾化、硅化　这是早期蚀变作用。除区域性的面型钾化、硅化外，在含金石英脉的最外围也可产生这两种蚀变。

磁铁矿化、黄铁矿化、铁白云石化、绢云母化　这是因为中期热液中 S^{2-}、CO_2 活性明显增加，随蚀变的增加，暗色矿物首先分解，释放出 Mg、Fe 等进入热液系统导致矿脉中出现大量富含 Mg、Fe 的矿物，如黄铁矿、镁菱铁矿、铁白云石、闪锌矿等。以上四种矿化蚀变可构成宽为 0.2—3m 的黄铁绢英岩带，此是主要矿化阶段。

绿帘石化、绿泥石化　在远离矿脉地方蚀变减弱，角闪石部分绿帘石化，黑云母部分绿泥石化，斜长石表面发生绢云母化。岩石仍保持原来的结构构造。

碳酸盐化　是晚期热液活动的产物，表现为方解石小细脉或菱铁矿产于裂隙之中。

第三节　主矿化期同位素年龄的测定

栖霞金矿主要矿化阶段是多金属硫化物-石英阶段，存在于宽窄不一的黄铁绢英岩带之中。我们主要采集此带中蚀变发育好的绢英岩作测试对象。绢英岩经挑选，集中了绢云母、石英、长石和部分黄铁矿。照片 8.3.1 是样品 QT-41D 的产地绢英岩之状况；照片 8.3.2 是样品 QT-42A 的产地绢英岩之状况。照片中的灰绿色部分为绢英岩。样品产地在栖霞金矿离竖井 40m 的坑道之中。QT-43B 绢英岩是在栖霞金矿+50m 中段的坑道之中采集的。

QT-39B 样品是绿泥石化时产生的绿泥石，细分为叶绿泥石，因与菱铁矿，方解石化呈叠加状，故在样品中含有部分的方解石。照片 8.3.3 是 QT-39B 样品产地的状况，照片中绿色、绿灰色部分为绿泥石。产地在栖霞金矿 80 中段 D6 南 6m 处。

QT-40 是取自菱铁矿岩的样品，呈褐色，片状聚合体，碳酸盐化时期的产物。该样品产于栖霞金矿 50 中段斜井旁 40m 处。照片 8.3.4 呈条带状褐色的部分即为菱铁矿。

以上 5 个样品经测试后得出“胶东栖霞金矿成矿期同位素年龄 Rb-Sr 等时线”(见图 8.3.1，表 8.3.1)。

从图 8.3.1 中可以看到，5 个样品组成的等时线落点均匀，线性较好。若将 QT39B 样品点舍去，线性将会更好，但考虑到蚀变形成的绿泥石(加入了部分方解石)在蚀变带中占一席之地，具有年代学和矿床成因方面的意义，所以就一起回归于等时线中。

等时线给出的同位素年龄 106.14±4.92Ma 应是胶东栖霞金矿的成矿年龄。因为栖霞金矿经多次岩浆-构造活动相叠加而使矿床逐步富集形成，故提供的这一年龄也可视为栖霞金矿综合成矿年龄。

较高的 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 初始比 (0.715242) 揭示了深部岩浆热液在上升过程中大量溶解了陆壳的成分已不具备幔源物质成分。

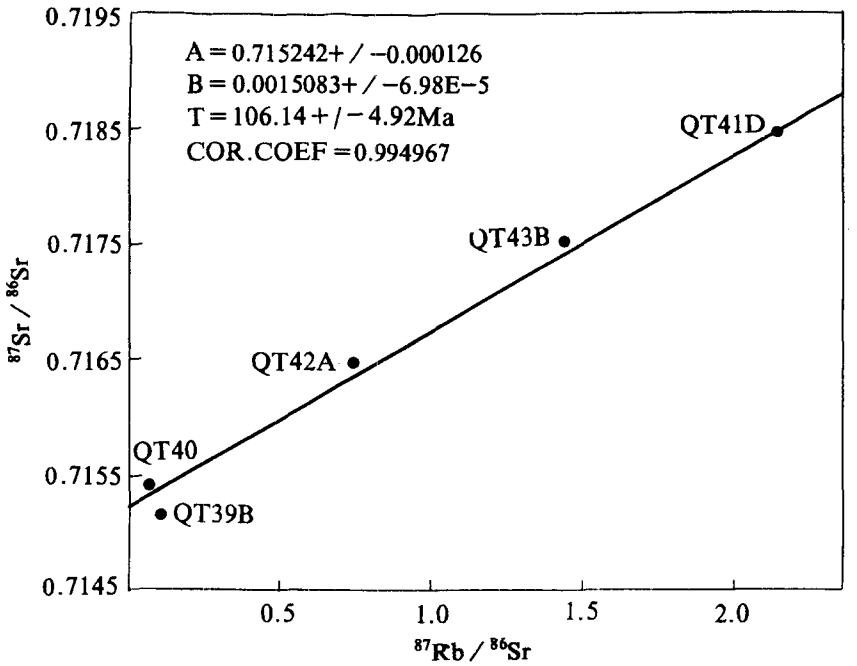


图 8.3.1　胶东栖霞金矿成矿期同位素年龄 Rb–Sr 等时线

表 8.3.1　胶东栖霞金矿成矿期同位素年龄数据一览表

样品编号	样品名称	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}Rb/^{86}Sr$	($^{87}Sr/^{86}Sr$)现代
QT–41D	蚀变绢英岩	116.199	223.19	2.1520	0.718462±0.000024
QT–43B	蚀变绢英岩	40.566	81.34	1.4410	0.717523±0.000036
QT–42A	蚀变绢英岩	21.488	74.97	0.7419	0.716450±0.000050
QT–39B	绿泥石 (含方解石)	11.033	296.14	0.1077	0.715152±0.000062
QT–40	菱铁矿	0.859	38.46	0.0645	0.715400±0.000070

($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比=0.715242±0.000125(2σ);

年龄=106.14±4.92Ma(2σ);

相关系数=0.994967;

$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}/a$.

第九章　分析测试技术

第一节　样品的挑选和研磨

样品的挑选原则已在第二章中概述，按其原则挑出样品之后，均磨成200目，必要时可过筛。达不到200目的样品将造成溶矿的不彻底，平行样不重合或分析结果误差大。破碎过程中要防止污染，那么破碎工具为不锈钢质地是不言而喻的；逐级破碎时要洗净，因为一个样品一般为2—10g，所以经这一环节不得损失无度。研磨工具为码瑙乳钵，特别注意的是在研磨"较老"的样品之后，乳钵更要仔细地洗净，否则交叉污染会导致年龄测定功亏一篑。

研磨好的样品要妥善保存，平时要放在干燥器中以备分析。

第二节　被测元素的分离技术

被分离、测试的元素Rb和Sr，其总量在样品中仅含万分之几，其中放射生成的Sr只是样品总量的十万分之几。我们一次称样，一般为30mg，这样小的称量所含Rb、Sr的比例是微乎其微了，显然这分离分析的难度是相当大的。为了得到准确的测试结果，首先必须使整个空白流程本底在10^{-9}110^{-10}g数量级。对个别高Rb高Sr样品，空白本底可适当放宽，但不能大于10^{-8}g数量级。为此，要求样品从溶样、分离到测试，所用的试剂都必须是超纯的，市场上买来的高纯或特纯试剂如盐酸、过氯酸、氢氟酸等亦都再需用石英或聚四氟蒸馏装置重新蒸馏，当量数重新标定。试剂要存放在专用的聚四氟或石英容器中。分析中所用水均须用石英蒸馏器，亚沸重蒸三次以上成为高纯水且现蒸现用。

实验环境必须是超净的。实验室通风必须经初、中、高三级过滤。样品的分离是在超净实验室的超净工作台中进行，超净工作台的进风是实验室内的超净空气，经过进一步的中、高效过滤之后，超净工作区空气净化率（$>0.5\mu$尘粒）$>99.95\%$，

前已述及，作样时我们采用小称量，其优点是：可确保比较顺利地选出少精而有代表性的样品；溶样中用的试剂相对也少，带入杂质少。实验中用高丰度的^{87}Rb和^{84}Sr做稀释剂，根据不同组分的样品分别加入适量稀释剂使其呈最佳稀释度。试样用氢氟酸和高氯酸分解后，以盐酸溶液提取。经DOWEX×50×8、200—400目强酸性阳离子交换树脂进行两次小柱最优流程的交换分离，分别接收Rb和Sr，蒸干，Rb和Sr呈氯化物的形式送质谱测定。

在分离Rb、Sr时，一个非常重要的问题是，不同组分的样品由于成分不同其Rb、Sr在交换柱上的位置是不相同的，不能以通用的交换、解吸流程对待。要时刻注意铁的所在位置，它可以间接地指示Rb、Sr所在的位置。样品中含铁少时，要有足够的实验和研究的经验来决定。为了准确地接到Sr，我们对一些疑难样品一次分段收集两个Sr，以保成功。

室温的变化也会影响Rb、Sr在交换树脂上的位置。一般掌握在21℃的室温下进行分

离，一旦室温升降变化，要密切注视 Rb、Sr 位置的随漂情况，及时加大或减小淋流液，要注意每个环节上保证无误地收集到 Rb 和 Sr。

第三节　元素的测试

Rb、Sr 的质量分析是在高精度的多接收热电离 VG354 质谱计上完成的。质谱分析中采用了无穷极数分析法编制的专门计算程序软件，可以及时进行同位素的分馏校正，从而大大提高了测量精度和结果的准确性。等时线的拟合是在计算机上进行的，采用程序化的 YDRK 双误差回归分析法计算。取权方式用残差平方倒数。年龄计算所用的衰变常数 $\lambda^{87}Rb = 1.42 \times 10^{-11}a^{-1}$。

第四节　分析测试中标准样控制

为确保分析质量，我们在元素分离过程中采用批量样品用美国标准样 NBS607 进行同分析流程相同的同步分析。标准样的质谱测试也是在 VG354 上进行的，这样可同时起到标定质谱分析流程稳定性的作用。质谱计工作状态由美国普通锶 NB987 进行标定。两个标准样的分析要求必须在公认的允许误差范围之内，否则样品当重新分离，仪器状态再经调试到合格后才可投入运转。

同位素年代学方面的工作，目前国内尚无计量标准，大都以两个标样进行控制，凡达到允许误差范围即认为达到技术质量标准，亦公认跨入国内高水平。

第五节　样品点的筛选和等时线的处理

在野外取样时务必考虑到每个样品的针对性，取什么样品，解决什么问题。有些样品由于蚀变交代不彻底，取样经镜下鉴定后，再加分析测试相互印证。有些点可能在等时线上落点分散，但是它们都是有原委可寻。当然也有个别样品，预计应该是很理想的，结果不上线，虽然尚深究不明，但我们还是尊重实验的客观效果，避免参入人为的因素而改变等时线的本质面目。

蚀变带在多数情况下发育并不完全，同在一个蚀变带中取得的样品，其 Rb、Sr 含量也有区别不大的时候。尽管样品不错，但落点集中，只得舍弃一部分，留其落点拉得开的。这就造成了一些等时线仅有 4 个样品点。也有另一种情况：一条等时线上落点较多，集中在一起本应舍一部分或个别样品点离等时线稍远，舍去它，等时线的线性会更好。但考虑到这些样品可能有其特殊的成因意义，故被保留下来。必须指出，留下它们的一个重要的标准是：它们的参加绝对不能使等时线的相关系数小于 0.99。

本研究的等时线有时会出现一个落点较高，而其它几个落点在下部的情况，略看给人以二至三点的感觉。有人说，这种落点不理想或不合理。但是我们在斟酌后认为，较高的落点是难得的，只要分析结果可靠就不必舍去，其它几个分布偏下、较集中的样品点可以用放大的形式来表示。当然，这几个集中的样品点它们的线性也应该是很好的，不可呈离散状。极少情况下，若舍弃最高的一个点，只回归下部集中的几个点，它们所成的直线相关系数也应

在 0.96—0.99 之间，给出的年龄与同高点一起回归所给出的年龄，二者的误差都在允许范围之内。

一些方解石样品，理应很少含 Sr，而落点必须为“锁点”，与($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始值相当。但是，分析后其落点上升了。这是因为我们在挑选样品时，考虑到绢云类、长石类、石英等矿物同是蚀变矿物，而方解石有时和它们叠加嵌生很难分开，因此故意混入些才造成落点偏高。

各样点在回归分析中所拥有的权，是以其分析误差的大小来决定的，不简单地决定于所在的位置。所以，尽管有些样品落点偏高，因其权并非太大，故而对它加以取舍对整个等时线的结果偏差产生不了太大的影响。

第十章　其它地区金矿化同位素年龄的测定

科研及实验工作的要旨在于，其方法和手段应具有广泛和适用意义。为此，我们凭借客观契机对本研究实验结果作了横向验证，地区，扩展到另外两个省份；矿种，除金矿床外扩展到其它金属矿床；成矿年龄从 1 亿年到 11 亿年不等。

第一节　郯庐断裂带两侧其它地区金矿床成矿年龄的测定

安徽某地一金矿床产于郯庐断裂带的一侧，与胶东一些金矿有相似的成矿条件，围岩是变质岩，蚀变分带不明显，在一块大的手标本上可见到钾化、绢英岩化、硅化、黄铁矿化相互叠加。曾取了不少样品选其中的绢云母，但因矿物太小，分选难度太大，工作很难进行。鉴此，我着手于从几块手标本上选出几个矿物组合不同的样品。

金矿的围岩是变质岩，我们对其进行了 Rb–Sr 等时线法年龄测定，给出了最后一次变质（或热力事件）时期为 1149.7 ± 32.1Ma，相关系数 = 0.997375。

该金矿床有 6 个样品点，其中 3 个样品是以水云母或绢云母组成的样品，而另三个是以长石或绢云母不同组合成分的样品。其中方解石是落点最低成“锁点”的样品。最后回归拟合出一个相当理想的 Rb–Sr 等时线（图 10.1.1）。

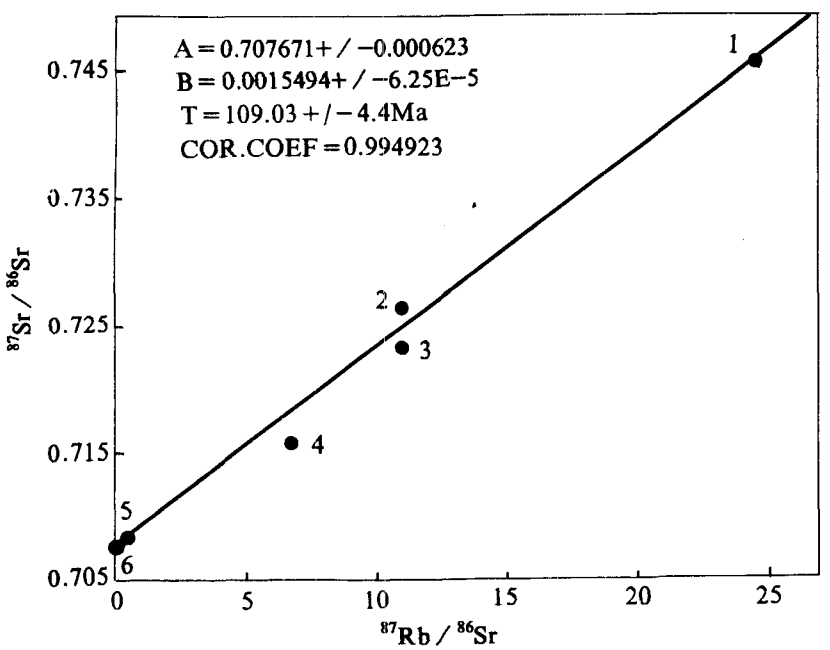


图 10.1.1　安徽某地金矿床成矿同位素年龄 Rb–Sr 等时线

安徽某地另一金矿床，有 4 个样品，它们是我们选出的绢云母、绿泥石。得出的等时线图 10.1.2。

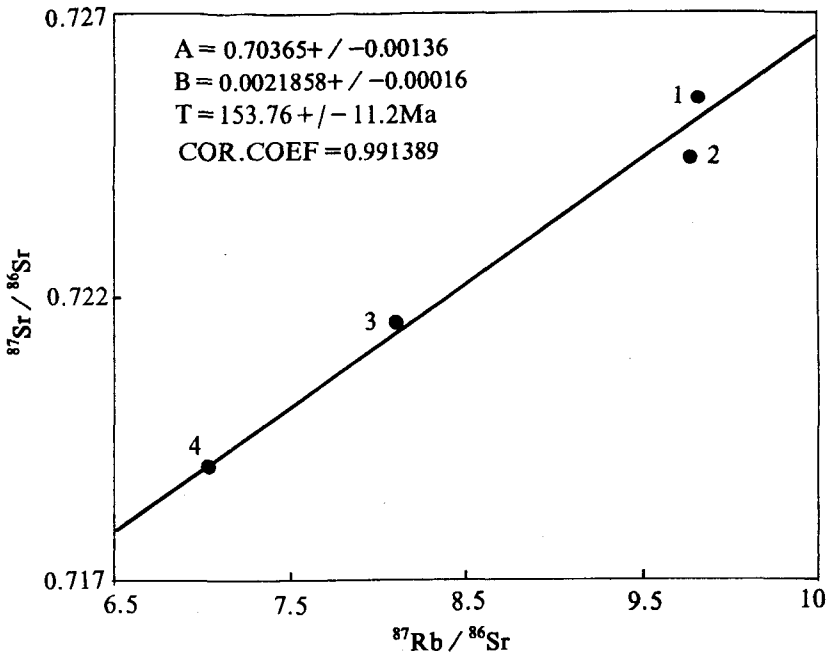


图 10.1.2　安徽某地金矿成矿同位素年龄 Rb–Sr 等时线

上述两个产于变质岩中的金矿床，成矿时代分别是 153.76± 11.20Ma（相关系数 =0.991389）109.03± 4.4Ma（相关系数−0.99423）。都是燕山期成矿。由此可见，郯庐断裂带的两侧发育了大量的燕山期金矿床，揭示了它在此时期的活动是很活跃的。

第二节　纬向构造体系中金矿床成矿时代的测定

河南小秦岭地区就构造体系而言是纬向构造体系的组成部分，属秦岭、豫皖、苏北、黄海段。据有关资料认为，该区自晚元古代已存在一个古秦岭—大别山活动带。秦岭段各带自三叠纪以来至少有过印支、燕山、喜山期三大构造运动。

小秦岭地区分布大面积的前寒武纪变质岩系——熊耳群。由于自晚元古代古秦岭—大别山构造带的活动，并伴随有火山活动，形成糜棱岩、绿泥石片岩、爆发角砾岩等。有资料说明熊耳群的成岩年龄最下部铅模式年龄可达 19×10^8a；稍上部锆石测年龄达 14×10^8a；岩筒中的次火山岩属熊耳期为 13×10^8a。

熊耳群中产出的金矿属蚀变岩型金矿，围岩蚀变以黄铁绢英岩化为主。以绢英岩、石英等组成的 4 个样品，测得的 Rb–Sr 等时线给出的金矿成矿年龄为 165.24± 6.55Ma（图 10.2.1）。

这一年龄应该是熊耳群中分布最广的火山岩中蚀变岩型金矿的一次主要成矿期，当属燕山期活动的产物。

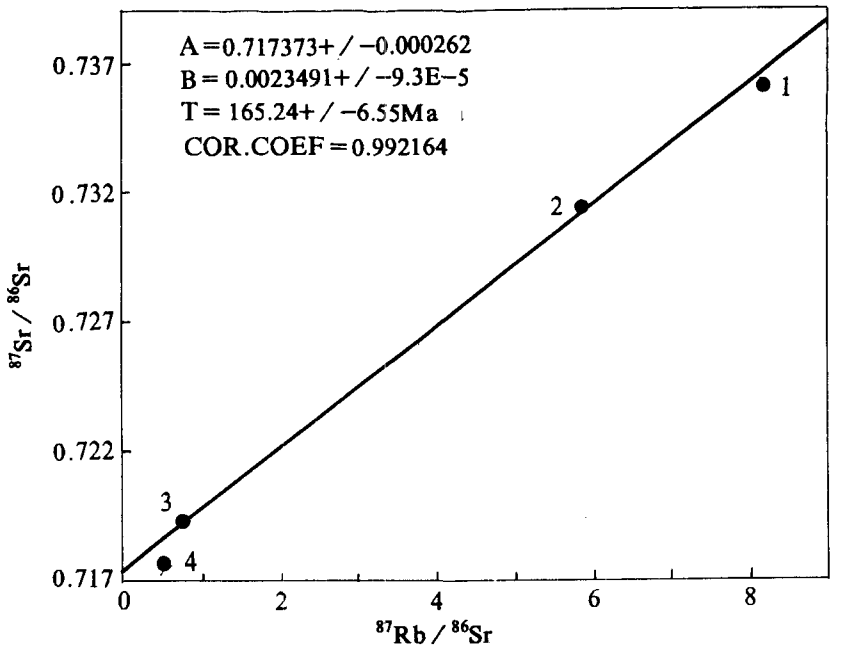


图 10.2.1　河南小秦岭熊耳群中某金矿成矿同位素年龄 Rb–Sr 等时线

另一组样品包括绢云母、石英、方解石在内的共 6 个样品，测定的 Rb–Sr 等时线给出一个 112.59 ± 6.29Ma 的金矿化年龄(图 10.2.2)。这一年龄是又一次燕山期金矿化的计时。以上两条等时线给出的($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始值都说明了物质来源并非上地幔，而是陆壳物质大量熔融的产物。

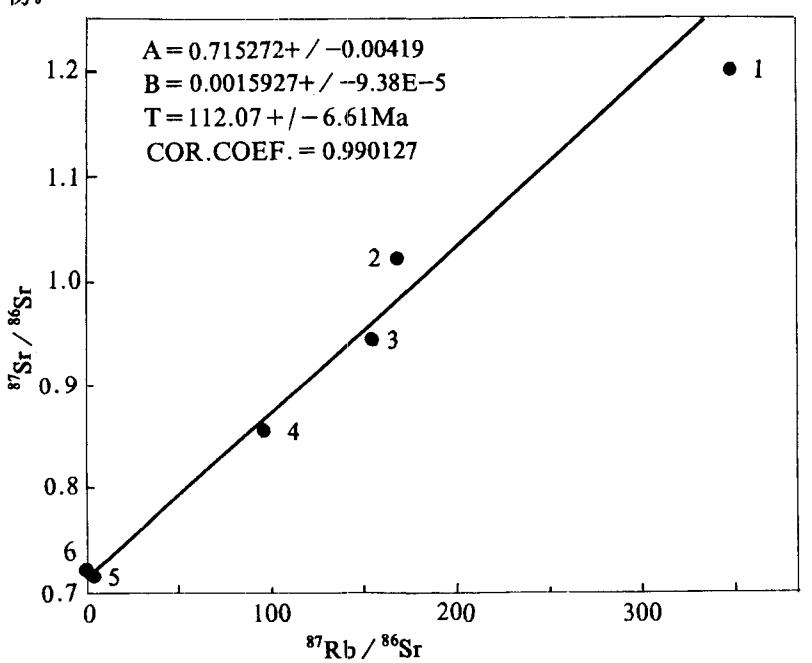


图 10.2.2　河南某地小秦岭熊耳群中金矿成矿同位素年龄 Rb–Sr 等时线

在熊耳群中有一种和火山岩活动密切相关的石英脉型 Pb、Zn 矿。该矿围岩 Pb 的模式年龄为 19×10^8—17×10^8a。火岩的成岩年龄在 18×10^8—14×10^8a。为测定此 Pb、Zn 矿的成矿年龄，我们选取了包括绢云母、石英、方解石在内的共 6 个样品，得到了一个非常好的 Rb–Sr 等时线(图 10.2.3)。

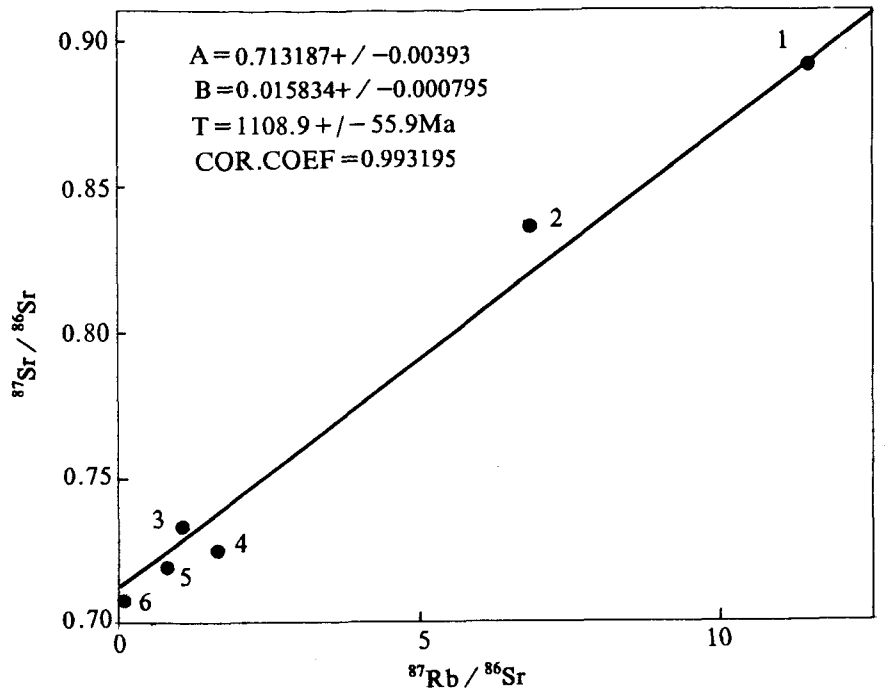


图 10.2.3　河南某地小秦岭熊耳群中铅锌矿床矿化同位素 Rb–Sr 等时线

等时线给出的年龄是 1108.3±55.9Ma，是该区目前测得最老的一次金属矿床矿化期，应和该区较老的火山活动有密切的成因关系。

以上三条等时线说明了华北陆台南缘金、多金属成矿期在一些矿床主要为燕山期，较老的多金属成矿至少可追溯到 11 亿年前。

第三节　其它地区同位素年龄测定的结论

从安徽、河南所作的五条 Rb–Sr 同位素年龄等时线证明，以我们的去选样、分离、测试是可以得到理想的 Rb–Sr 等时线的。这些等时线指示了该区金矿或多金属矿床成矿年龄。说明了我们的年龄测定方法不但适应于胶东，也适应于其它地区；不但适应于围岩是侵入体的矿床，也可适用于围岩是变质岩的矿床；不但适应于燕山期矿化，也适用于老自元古，新至喜山期的金或其它金属矿床的矿化时代测定。

第十一章　对一些地质体形成时代的再认识

随着成矿年代学全方位的发展，被测元素分离、分析、测试方法的提高，资料的大量积累，必然对以往曾被确定或有争议的地质体时代，提出新的看法。就此，我们不妨也参与一些见解，以期抛砖引玉。

第一节　玲珑花岗岩成岩时代的讨论

自 1949 年郭文魁提出玲珑花岗岩成岩为太古代这一观点以来，至今已 40 余年。这之后相继有不少地质学提出该岩体形成于元古代或中生代等不同看法。

山东地质六队文子中在整理了玲珑花岗岩用不同方法测试的 98 个单样和等时线年龄数据后，提出：K-Ar"真实年龄值"为 152.73Ma，K-Ar 等时线年龄为 150.12±3.65Ma。玲珑花岗岩 Rb-Sr 同位素年龄样品共 33 个，均为全岩样品，系 80 年代初期测定的，他在寻求玲珑花岗岩的 Rb-Sr 等时线过程中，曾抛开地质因素单从回归分析配直线的原则出发，总共选配了 17 条直线，计算结果表明，相关系数大于 0.95 的直线有 11 条，所代表的年龄值为 46.30—1442.78Ma。他认为花岗内带的粗粒花岗岩是岩浆冷凝结晶的产物，用其中 7 个样品回归的 Rb-Sr 等时线给出的年龄是代表了花岗岩成岩的年龄，即 156.40±11.99Ma(图 11.1.1)。

从图 11.1.1 可以看出，等时线的取点几乎都是偏低的。据文子中分析，不少高点虽是内带样品，但由于样品所处的地质环境的差异(如同化混染或混合岩化作用)使样品落点变高，若以这些点回归必然给出较老的年龄。

对于玲珑花岗岩的成因，大体分为岩浆之说，混合交代之说，重熔之说等等。从我们在花岗岩体内测得金矿床的 Rb-Sr 等时线其($^{87}Sr/Sr^{86}$)初始比无一例外地都指示出物质并非来源于地幔，这就排除了玲珑花岗岩是深部岩浆入侵形成的说法。我们认为玲珑花岗岩是就地重熔后又混合交代的杂岩体。重熔和混合交代发生在胶东群形成之后的元古代，文子中回归的 1442.78Ma 的等时线代表了其形成年龄。玲珑花岗岩形成之后，自元古代以来的地质事件包括岩浆-构造活动都在不停地影响着它，使岩体内不同部位发生进一步的混染、混合交代，这期间也不排除从深部入侵新的岩浆。所以我们认为玲珑花岗岩是形成于元古代 1442Ma 左右，而直到中生代末还在不停改造的杂岩体。

从我们测出的 188.94±4.42Ma 金矿化年龄来看，不能不对玲珑花岗岩形成于燕山期的观点提出质疑。鉴于科学技术发展的历史局限性，可以说，前人做出的有关玲珑花岗岩的不少年龄数据，误差明显较大，或样品不适宜。我们在玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩的一些矿区进行调研中发现，矿区内矿脉的岩脉成百上千，它们在活动。在如此活动的矿区或矿田，从岩体中欲找到一块未受成岩后热力地质事件(包括中生代以来的构造-岩浆以及热液活动)影响的岩石是不容易的。只有在远离矿区，作详尽的地质调查之后，才有可能找到那些

保存完好的成岩最早的岩石，经测试可得到尽可能老的玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩的年龄。否则，不同地区，不同部位得到新、老不一的年龄也是必然的。因为它本身就是一个形成早直到现在还在改造的杂岩体。

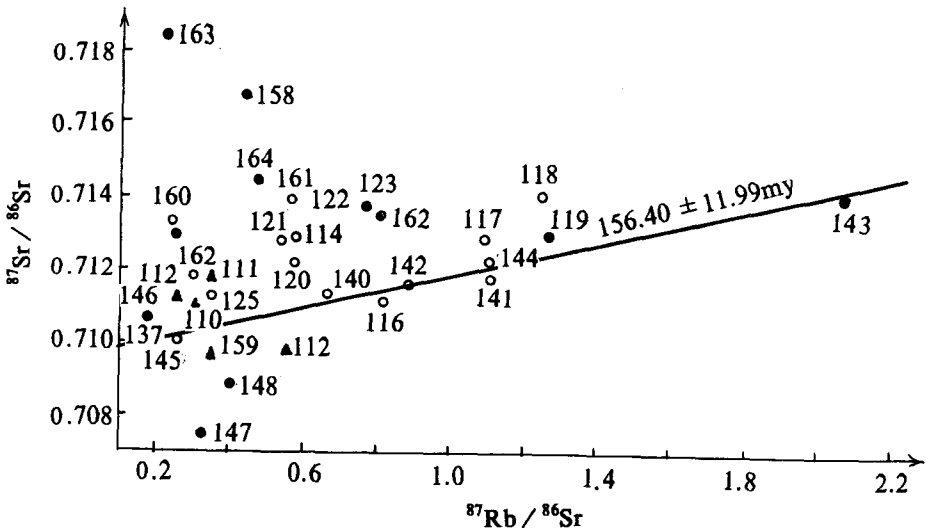


图 11.1.1　玲珑花岗岩 Rb–Sr 等时线

○粗粒花岗岩；●中粒花岗岩；▲细粒花岗岩

（据文子中，1985）

第二节　昆嵛山花岗岩成岩时代的讨论

胶东东部的昆嵛山花岗岩体出露面积达 1200km^2。岩体呈北北东向展布，岩体由各种类型混合岩和混合花岗岩组成。于津海(1991)由西向东分别分为四个相带：部分混合岩–混合岩带、混合片麻岩带、混合花岗岩带和斑状花岗岩带。中粒黑云母混合花岗岩是昆嵛山地区金矿赋存的主要岩石类型，我们研究的乳山金矿即产在其中。

于津海用黑云母 K–Ar 法测定花岗岩的年龄为 124.5—132.1Ma；Rb–Sr 全岩–矿物内部等时线法的同位素年龄为 134.3Ma。据资料，在本区混合花岗岩中所做的 Rb–Sr 全岩等时线给出的结果为 610.8Ma，其 6 个样品的相关系数为 0.9919。因此，他认为昆嵛山混合杂岩体是两次混合岩化作用的产物，即中生代以前 610.8Ma 发生一次混合岩化作用，中生代 134.3Ma 产生了第二次混合岩化作用。

裘有守等(1988)认为昆嵛山花岗岩是元古代由胶东群经混合交代演化而来的。在昆嵛山岩体中取得的人工重砂样品一个，锆石按粒级分组，拟合等时线得到的较老年龄为 1827Ma。他们认为这个年龄值最接近花岗岩的形成时间。

据其它资料，在花岗岩中取的钾长石，以 Rb–Sr 矿物等时线给出了 145.47Ma 的成岩年龄。还有紧靠矿区所取的全岩等时线给出的年龄为 160Ma。但是，在远离构造活动带或

热液活动带的地方取的全岩 Rb-Sr 等时线给出了 7 亿年的成岩年龄，个别地区可达 15 亿年以上。当然，这些等时线中所包括的样品数量少了些(多为 3 个或 4 个)，线的相关性差了些(系数在 0.76—0.97 者居多)。

总之，以往对昆嵛山花岗岩形成的时间远没有定论。昆嵛山花岗岩是牟-乳断裂带上的一个主要岩体，大型金矿都赋存其中，它的形成时代的确定，对研究矿床的成因和时间上的演化都有很大的意义。就我们在此地区工作中体会到，要对乳山金矿的围岩——昆嵛山花岗岩的形成时代作出符合实际的结论，尚需做更细的工作。在矿区周围，用在单矿物或全岩，用 K-Ar 法或 Rb-Sr 法，试图求得花岗岩的成岩年龄是不可能的。因为样品受到后来成矿热液的影响，成岩时代的封闭体系已不复存在，保留的是与成矿有关的新的 Rb-Sr 封闭体系，故测出的大量的燕山期的年龄，其实反映的是与成矿作用有关地质事件的年龄。

我们认为胶东东部的昆嵛山岩体和玲珑花岗岩有相似的经历，它形成于元古代以前即大约 18 亿年以前。之后，历经了混合岩化作用和燕山期的构造-岩浆活动。所得的乳山金矿燕山期成矿年龄，侧面地反映了昆嵛山杂岩体在燕山期仍不停地活动着、改造着。

第十二章　胶东金矿同位素年龄厘定研究结论

第一节　胶东金矿成矿在时间域上的演化

就目前我们测得或能见到的有关成矿年龄方面的资料，均表明胶东众多的岩金矿床都形成于燕山期或之后。

郯庐断裂在燕山期的构造-岩浆活动是胶东金矿形成的基础。

郯庐断裂是一个总体走向为 NNE，贯通中国东部的一个深大断裂，是平行东亚大陆边缘的一个大型入字型构造体系。其长度可达数千里，宽约 80—200km。它在山东境内的延伸部称为沂沭断裂。胶东的几个金矿带都与沂沭断裂带平行排列。王学佑(1993)以遥感技术对郯庐断裂进行分析之后认为：郯庐断裂由四条主干断裂组成，其中最东边的是三山岛—宿迁—桐城弧形深大断裂带。胶东的三—仑金矿带就在此带之上，属北段部分。

持板块学说的学者也认为：自三叠纪以来，在古欧亚板块东部地区受到库拉板块向 NW 方向的强烈俯冲作用和中国地块受到"三力对顶"的应力作用，产生非均一性相对扭动，造成中国东部地区大规模的 NE—NNE 向压扭或旋扭及拉张裂谷式的构造体系以及伴生的岩浆、火山活动，并造成大规模的金-多金属成矿作用。

由于郯庐断裂在燕山期异常活跃，使胶东 NNE 向的构造发生活化，岩浆、脉岩活动频繁，因而提供了足够的驱动力。多种因素构造的含矿热液形成之后，沿构造提供的通道运移，在有利的构造部位，在物理化学条件合适的情况下产生金的沉淀而成矿。含矿热液形成和开始运移的时间是在燕山运动的初期，距今约 2 亿年左右。而金的沉淀则根据不同的地质条件，先后有所差异。最老的金矿化发生在北-灵矿田，于 188.94±4.24Ma 形成了灵山沟金矿。这是燕山早期构造-岩浆活动导致的一次成矿作用。尔后，燕山运动进入高潮，含矿热液到处活动，大批的金矿化在这个时期发生。113.31±4.43Ma 形成了乳山(金青顶)金矿；111.38±2.80Ma 形成了玲珑(九曲)金矿；106.14±4.92Ma 形成了栖霞(马家窑)金矿；100.74±3.58Ma 形成了玲珑西山 108 号脉金矿床。

以上这些矿床的形成大约都集中在不到一亿年的时间之内。在距今 1—1.8 亿年这段时间内，不仅在胶东而且在整个中国东部，凡与郯庐断裂燕山期活动有关的金或金属矿床大都在这段时间成矿，此乃是一个主要的矿化时期。燕山晚期矿化势头逐渐减弱，很少再有大型矿床形成。

喜山期侵入活动再起，胶东大量的玄武岩的喷发和火山活动揭示了这一活动的存在。构造断裂再次复活，又造就了以界河金矿为代表的喜山期金矿床，成矿时代在 46.52±2.29Ma。这种浸染状构造蚀变岩型金矿引起矿床界的关注，它年轻的成矿史也将引起人们的重视。

胶东金矿床成矿时期大都集中在燕山期大约 0.8 亿年的时间范围，仅就时间域演化而论，并不存在横向或纵向变化的规律性。这个时期成矿相对早晚只决定于地质条件的差

异。各成矿带的含矿热液，从其($^{87}Sr/^{86}Sr$)初始比分析，物质来源都是局部性各自成统的。金的流动趋势在局部范围内可能有所规律性的反映，但在整个胶东尚无规律可循。从胶东金矿床的成矿年代可以说明：金矿床的矿化不是一次完成的。一次矿化可能是多次含矿溶液的脉动而使矿化相互叠加，金得以富集而成矿。矿化时间指的是一次矿化几次含金热液脉动成矿的总和。只有两次脉动相隔较大，大约 30Ma 以上，就可以被测出定为两次矿化，这也是我们能够分出各矿床不同成矿时代的条件所在。

第二节　样品适应性的新扩展

以前测试蚀变岩中的蚀变矿物，总是精选矿物，千方百计作到尽可能的纯，一般要求精选单矿物占样品量的 98%以上，80%者亦视之不理想。提出此项要求的原因是多方面的，其中主要是：认为纯的单矿物就排除了其它方面的污染，测出结果可靠，纯的绢云母或长石类矿物其含被测母子体元素比较高，便于测试，减少误差。

其实这苛刻的要求并非必要。以作者多年实验室工作的经验认为，这是实验与地质脱勾的结果。依据年龄测试方法基本原理，只要在一个封闭体系中，是同源、同期生成的矿物或岩石都可参加测试和回归分析。要求母、子体元素含量高，便于测试，这在一个时期一种特定的条件下是可以理解的。因为在一个阶段内，方法不够成熟，测试水平较低，实验设备较差，只有被测元素有足够的量才可被测试出来，所以只能企望含那种元素的矿物越纯越好。

随着元素分离，测试技术的进展，设备的更新，方法的灵敏度和精确度已大大提高了，那种选纯矿物的苛刻要求就应该改变了。

样品可采性、可测性如何，是测年龄方法可否用于解决地质实际问题，有否生命力的关键所在。过去对测样要求单矿物纯而又纯，使一些方法失去了解决地质问题的能力。如 Rb-Sr 法以往要求精选出纯的蚀变绢云母就是一大难题。若蚀变带中的绢云母多而粒度大，这时不难选出要求的纯度和数量的绢云母；而对于大多数的蚀变带中的绢云母因其极细小而又和石英、长石镶嵌伴生，要想精选到要求的纯度，应必须破碎到很细的目级；粘土类矿物因为粒度更细，如何选出单纯的伊利石还没有什么成功的方法。目前单矿物的精选多采用样品破碎到一定粒级后，在双目镜下肉眼挑选。因为这种方法又费人力，又多花钱，所以往往使送样者望而却步，甚至不得不放弃了年龄测定工作。

单矿物母、子体元素含量较高但差别不大，将会出现等时线上落点聚拢的现象。而不同蚀变矿物相组合的样品差别性就较大，落点易拉开。从一个大的手标本上就可分选出不同组合的若干样品，组成一条等时线。河南、安徽两地的等时线就是例证。

我们认为，在我们取样选样的思路指导下，使 Rb-Sr 等时线法要求样品的适应性、可采性大大地扩展了。给这一年代学的成熟方法又注入了新的活力，使原来很难或不能解决的成矿年龄问题找到了途径，深受科研工作者的欢迎，为今后金属成矿年代学工作拓展了广阔的前景。

第三节　成矿阶段与主矿化期同位素年龄的测定

根据我们对放射性封闭体系的辨证理解，把各蚀变带发育良好，又很少有相同蚀变多次叠加的金矿床加以解剖，取各带能取到的样品，分带进行回归分析，得到有些带的生成年龄。蚀变带和成矿阶段是一个问题的两个着眼点，是可相互印证的。我们把钾长石化带（相当于成矿的前期阶段）所组成的等时线给出的年龄为成矿前阶段年龄。绢英岩化为主的蚀变带（有时包括黄铁绢英岩化，是多金属硫化物的成矿阶段）测得的 Rb–Sr 等时线年龄归为金矿化的主矿化期年龄。而碳酸盐化或叠加的晚期的绿帘石化、绿泥石化等蚀变带测得的 Rb–Sr 等时线年龄归为矿化后期即碳酸盐化阶段的年龄。

我们体会，要测定各成矿阶段的同位素年龄，必须具备以下几个条件：

1.矿床一次矿化的各成矿阶段，或几个有代表性的成矿阶段，必须发育良好。

2.各矿化阶段不应有区分不开的叠加现象；

3.各矿化阶段所取的样品，在回归分析时，在等时线上所处的位置要拉得开。

4.矿床一次矿化过程所经历各阶段的年龄总和不能小于 20Ma，否则，各矿化阶段不易分出。

实际上我们遇到的金矿床，蚀变带大多发育不完全。如前所述，我们把封闭体系扩大到一次矿化，取各带可取的样品全部加以回归处理，就获得了此矿的主矿化阶段的年龄，即主矿化期年龄。这种有科学根据的处理方法，包容了一次矿化不同矿化阶段或一次矿化多次脉动期、次相叠加的地质现象综合展示的成矿年龄，使成矿年龄得到一个综合性的、相对性的科学表达方式。地质历史时期，动以百万年计，一次矿化各期之间小则以几或十几个百万年计。试想含矿热液在长达百万年内静止不动是根本不可能的，它必然在不停地运动着，从运动中求得均衡。所以，宏观加以概括，用“主矿化期同位素年龄”来表达一个时期成矿历史是可取的。

计算主矿化期同位素年龄时，参加回归的样品必须满足如下条件：

1）各期（或成矿阶段）参加回归的样品个数要相当，权要均衡，尤其是早期和晚期的样品都要顾及；

2）一次矿化所经历的时间不能大于 30Ma，否则应视为两次矿化来处理，若以一个“主矿化期同位素年龄”表示是不妥的；

3）各带样品在等时线上的落点要拉得开。

第四节　胶东金矿物质来源

科学家通过对陨石的研究之后认为，地球是在 46±1 亿年的时间间隔内由太阳星云形成，此时它的（$^{87}Sr/^{86}Sr$）初始比接近 0.699。地球形成后的几亿年内，地表就富含碱金属、硅和铝的岩石。从大约距今 40 亿年左右，由上地幔的内部分异作用，大陆地壳开始形成。后来，锶在地球上的演化是在大陆地壳与在上地幔中以不同的速率进行着。由于上地幔以铁、镁质物质为主，含碱金属少，故而产生的放射性生成锶很少，所以上地幔的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比

值的演化比大陆壳的这一比值的演化要慢得多．目前，上地幔锶同位素在一个窄范围内变化，其值为 0.704 ± 0.002．

穿过大陆壳的侵入岩或火山岩中的$^{87}Sr/^{86}Sr$比值要高，这是由于它们在侵位的过程中使陆壳熔融而生成新的岩浆造成的，因此根据$^{87}Sr/^{86}Sr$增长的程度来确定岩浆形成与演化过程中地壳岩卷入的程度．在考虑这个问题时应注意到，构成地壳的大花岗岩岩基，它们的成因是复杂的，可能来源于地幔，也可能是地壳的原有部分重熔后生成的．或二者皆有之．

我们在胶东几个金矿带上所测得的 Rb-Sr 等时线给出的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值在 0.71032—0.71524 之间，这表示已不具备完全的幔源物质成分，而具陆壳的物质成分，即岩矿床成因与岩浆侵位后的后期热液有关，也可以肯定这些岩浆并非直接来源于上地幔，很可能是原陆壳就地重熔造成的，或者岩浆在侵位的过程中大量的熔融了的陆壳．

关于金的物质来源问题，矿床学家们作过极为深入的研究．就以围岩和矿床 Rb-Sr 等时线给出的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比，我们认为金来源于围岩和侵入体，绿色的变质岩系和花岗岩侵入体不论是否为矿体的围岩，它们都是矿的金源之本，这是无可疑义的．

参 考 文 献

张振海等，胶东招掖金矿带金矿化蚀变带Rb–Sr等时线的研究及测定，贵金属地质，1993年，第2卷，第1期.

叶素芝，矿化期同同位素年龄测定中样品挑选及元素分离技术的研究，贵金属地质，1993年，第2卷，第1期.

张振海等，矿化期同位素年龄的初探，河南地质，1993年，第11卷，第2期.

陈光远等，胶东金矿成因矿物学找矿，重庆出版社，1989.

姚凤良等，胶东西北脉状金矿控矿条件的研究，地质出版社，1988.

安家桐等，山东牟平—乳山地区金矿控矿条件的研究，地质出版社，1988.

裘有守，山东牟平—乳山地区变质岩和花岗岩含金性及其与金矿成矿关系，地质出版社，1988.

D. 约克，R.M法奈尔，中国科学院地质所同位素室译，地球年龄与地质年代学，科学出版社，1976.

G. 福尔著，潘曙兰、乔广生译，同位素地质学原理，科学出版社，1983.

汪正然，矿物学，上海科学技术出版社，1963.

叶伯丹等编，全国同位素地质年龄数据汇编(第四集)，地质出版社，1986.

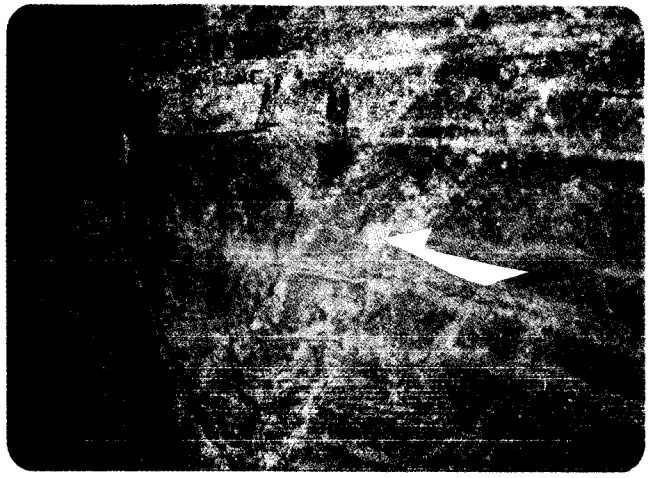
李四光，地质力学概论，科学出版社，1973.

地质力学研究所，中华人民共和国及其毗邻海区构造体系图，地图出版社，1985.

任纪舜等，中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿，科学出版社，1990.

沈阳地质矿产研究所，中国金矿主要类型区域成矿条件文集，5.胶东地区，地质出版社，1988.

文子中，玲珑花岗岩同位素年代学问题讨论，山东地质，第1卷，第2期，1985.



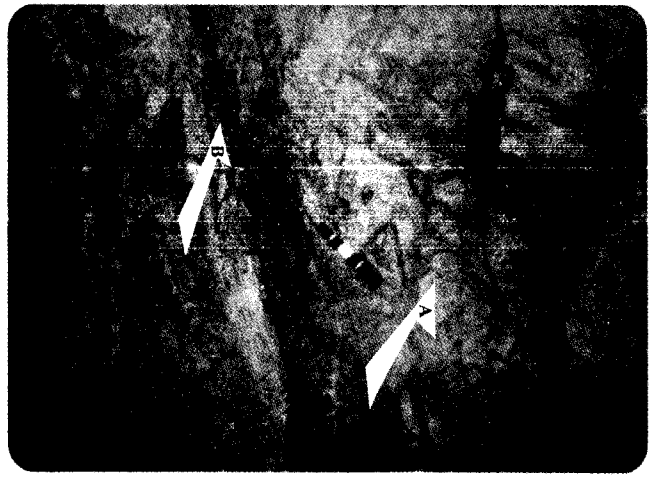
照片 4.4.1 玲珑东山矿区 47 号脉钾长石化发育情况
——网状钾化（A）和方解石脉（B）



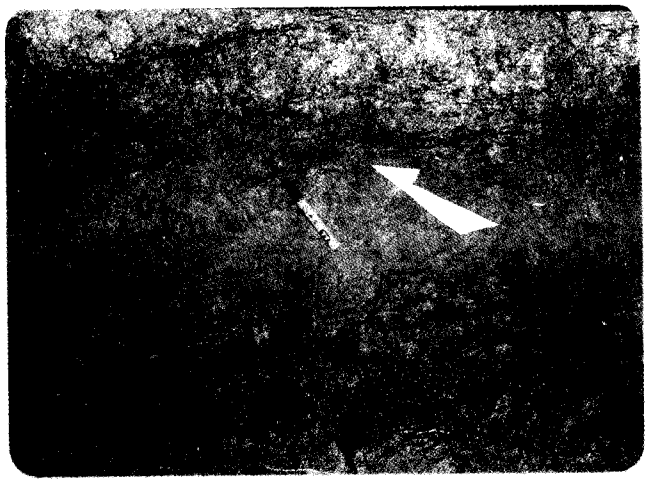
照片 4.4.2 玲珑东山矿区坑口（箭头 A 指示团块状钾长石化，箭头 B 指示方解石细脉）



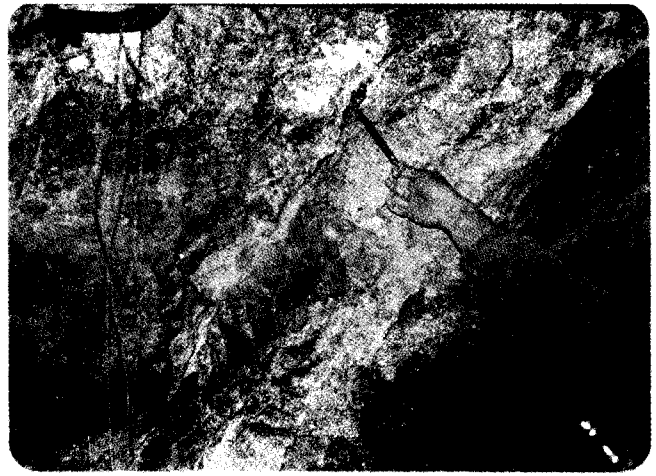
照片 4.4.3 玲珑东山坑口 206 中段 69 支脉绢英岩



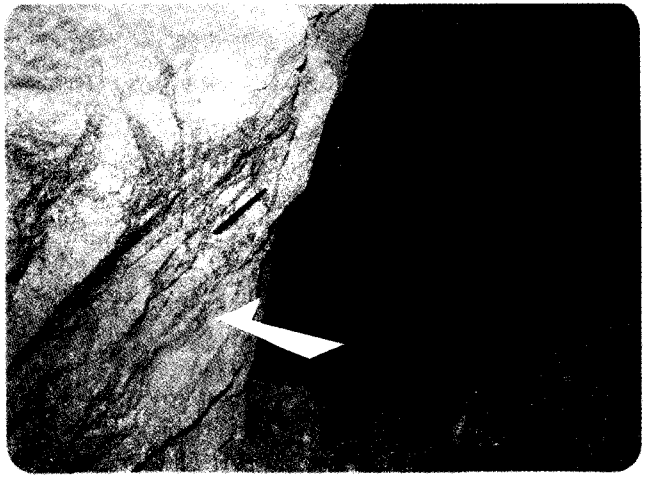
照片 4.4.4 玲珑东山 47 号脉 206 中段钾长石化(A)和绿泥石化(B)



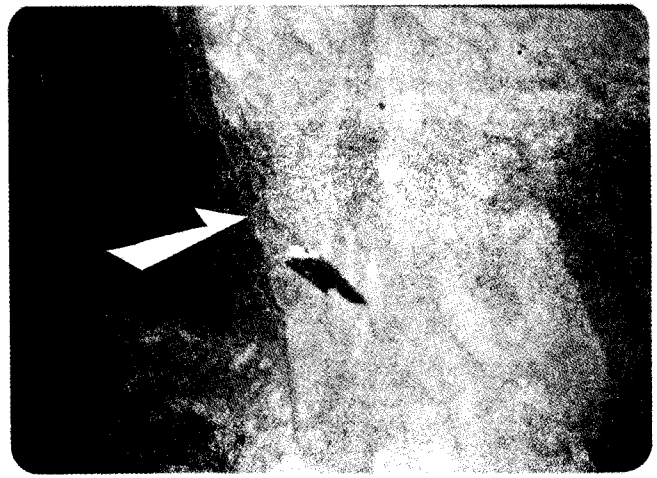
照片 5.2.1　灵山金矿团块状面型钾化（-50 中段，250m）



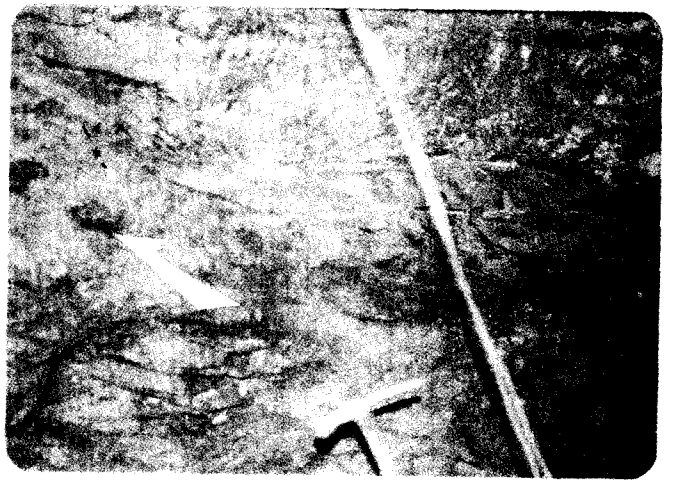
照片 5.3.1　灵山金矿-50 中段铬云母



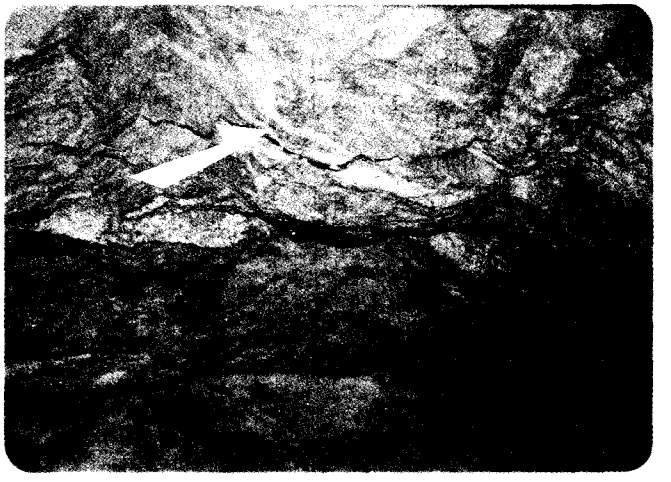
照片 7.2.1　乳山双山子金矿-50 中段 60.9 线钾长石化



照片 7.2.2　乳山金矿中的绢英岩化带乳山双山子金矿绢英岩



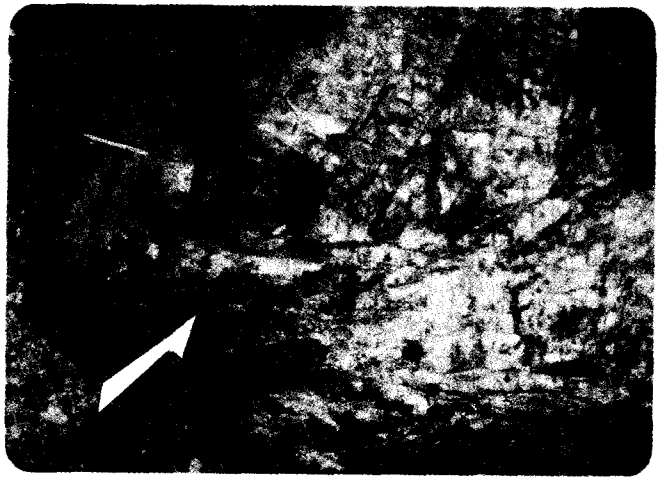
照片 7.2.3　乳山金矿碳酸盐化产生的方解石



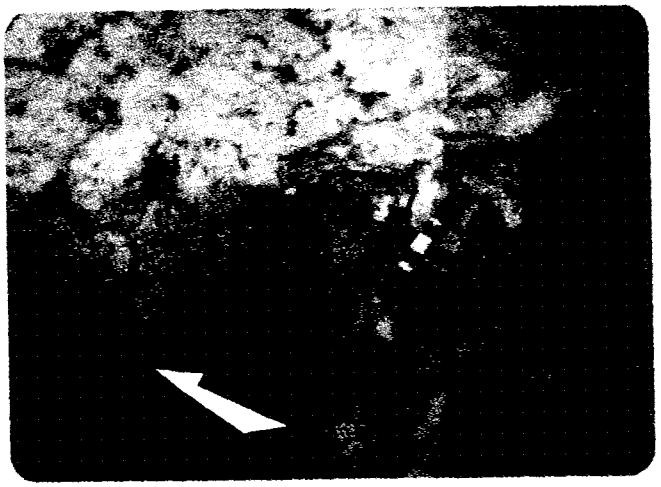
照片 7.2.4　乳山金矿-235 中段 13 线南绿泥石化产生的绿泥石



照片 8.3.1　栖霞金矿离竖井约 40m 绢英岩



照片 8.3.2　栖霞金矿绢英岩、有部分钾化



照片 8.3.3　栖霞金矿 80 中段 D6 南 6m 矿化
蚀变生成的绿泥石



照片 8.3.4　栖霞金矿 50 中段斜井旁 40m 菱铁矿

ISBN 7-5028-1121-4/P・679

(1514) 定价:5.80元