

额尔古纳南段中生代斑岩-次火山岩-浅成低温 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag 成矿系统

秦克章*

(中科院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室 国家有色金属工业局北京矿产地质研究所, 北京)

提 要: 额尔古纳南段 80 年代以来先后探明 4 处大型、特大型矿床。依据多方法精确定年(单颗粒锆石 U-Pb、Rb-Sr、K-Ar), 在该区首次划分出印支期花岗岩, 将乌山矿床成矿时代由燕山晚期改为燕山早期, 划分出印支期 (Fe-Cu-Sn)、燕山早期 (Cu-Mo)、燕山晚期 (Ag-Pb-Zn-Cu) 3 个成矿期。其成矿温度、压力、流体盐度、密度以及岩浆水的比重依次降低。在区域构造-岩浆-流体演化系统研究的基础上, 建立了区域斑岩-次火山岩-浅成低温成矿系统的五层楼模型。

关键词: 花岗质岩浆作用 斑岩铜钼矿 脉状银铅锌铜矿 浅成低温银矿 成矿系统

额尔古纳 Cu、Mo、Au、Pb、Zn、Ag、U 成矿带处于得尔布干-呼伦深大断裂北西侧, 向南西与中蒙火山-深成岩带首尾相接, 北西侧为俄罗斯外贝加尔褶皱系, 南东部与大兴安岭褶皱系相接壤。区域地层主要为大面积分布的侏罗-白垩系钙碱性火山岩和火山-碎屑岩系(总厚度达 6154 m), 次为古生代浅变质火山碎屑岩, 基底地层零星出露佳疙瘩群绿色片岩系 (1090×10^6 a) 和额尔古纳群变质碳酸盐岩和碎屑岩 (840×10^6 a)。额尔古纳矿带属西伯利亚地台边缘外贝加尔早加里东增生褶皱带, 成矿则受中生代太平洋板块运动影响^[4]。额尔古纳南段(满洲里--新巴尔虎右旗地区, 面积 30000 km²) 系一颇具潜力的大型-特大型 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag 成矿集中区。80 年代以来该区相继发现并探明 4 处大型矿床, 即乌奴格吐山(简称乌山) 斑岩铜钼矿床、甲乌拉次火山岩热液脉状银铅锌铜矿床、查干布拉根(简称查干) 次火山岩脉状银铅锌矿床、额仁陶勒盖(简称额仁) 浅成低温热液银矿床(低硫化物型) 及一批矿床、矿点。区内探明 Ag 储量已达 8000 t, 远景可达万吨, 已成为我国五大银矿集中区之一。它们分别与同源演化的花岗质成分浅成岩、次火山岩和火山岩相伴。构成类似于我国赣东北铜厂-银山-金山铜、铅、锌、银、金矿带的又一个完整的斑岩-次火山岩-火山岩成矿系统。

1 基于多方法同位素年代学的岩浆活动旋回及成矿期次划分

本区岩浆活动强烈, 火山岩和花岗岩类出露广泛。原主要基于全岩和少量黑云母、钾长石 K-Ar 年龄数据和侵入接触关系, 将区域岩浆活动划分为 3 期, 即海西晚期(以深成相花岗岩类岩基为主)、燕山早期(以中深成相花岗岩、花岗闪长岩岩基、岩株为代表) 和燕山晚期(以基-中-酸性火山岩及其浅成-超浅成相次火山岩为主)^[2,3]。过去认为, Cu、Mo、

* 秦克章, 男, 37 岁, 高级工程师, 博士后, 从事有色金属矿床及地球化学研究。邮政编码: 100029

Pb、Zn、Ag 主成矿期为燕山晚期，燕山早期伴有夕卡岩型铜-锡-锌矿化。

此次通过详细的多方法同位素年代学工作，含 2 组单颗粒锆石 U-Pb 谐和年龄，3 组 Rb-Sr 等时线年龄，3 件绢云母 K-Ar 年龄，将全区岩浆活动划分为海西晚期、印支期、燕山早期、燕山晚期 4 期。并相应地划分出印支期（夕卡岩型 Fe-Cu-Sn）、燕山早期（斑岩 Cu-Mo）、燕山晚期（脉状 Ag-Pb-Zn-Cu）3 个成矿期，以后两期最为重要。

1.1 印支期花岗岩的发现

关于本区是否存在印支期花岗岩，一直存在疑问：一侧蒙古、俄罗斯邻区^[12]及东部大兴安岭地区均有印支期花岗岩；二则本区未划分出印支期构造层，也没有确切的年龄证据。本区中生代火山岩大面积分布，由于断裂发育，很多岩体与围岩呈断层接触，甚至在断层的影响下出现片麻状构造。加之矿区范围内蚀变普遍，要确定岩体相对年代比较困难。本文针对区内四大矿区的早期花岗岩（原推断为海西晚期或燕山早期），经过系统的显微镜鉴定、硅酸盐全分析和 Rb、Sr、Cu、Pb、Zn 等 18 个微量元素测定后，从 20 余件样品中进一步选出未受蚀变或蚀变影响甚微的 11 件样品分两组进行了 Rb-Sr 等时线年龄测定。得到两条线性关系甚好的等时线^[5]。乌山矿床主要围岩——二道沟黑云母二长花岗岩基（110 km²）K-Ar 年龄为 $(176.9 \sim 210.6) \times 10^6$ a，Rb-Sr 等时线年龄为 $(211 \pm 21) \times 10^6$ a ($I_{sr} = 0.70617 \pm 0.00053$ ，相关系数 r 为 0.994305)（表 1）；甲乌拉—查干矿区及额仁矿区外围花岗闪长岩、二长花岗岩（岩基岩株，K-Ar 年龄为 $155.4 \times 10^6 \sim 178.4 \times 10^6$ a）Rb-Sr 等时线年龄为 $(225.4 \pm 7.9) \times 10^6$ a ($I_{sr} = 0.70533 \pm 0.00014$ ，相关系数 $r = 0.998774$)（表 2）。证明该区存在印支期花岗岩。原 K-Ar 年龄偏新，可能代表燕山期火山喷发侵入作用的热事件扰动。原划分的海西晚期、燕山早期花岗岩一部分要解体划为印支期花岗岩。在该期花岗岩基与碳酸盐岩接触带，形成了夕卡岩型 Fe-Cu 或 Cu-Sn-Zn 矿化，如龙岭等地所见，规模大都较小。

表 1 乌山斑岩铜钼矿床花岗岩、斑岩体与蚀变岩同位素年龄

岩 性	面积/km ²	K-Ar 年龄 / (10 ⁶ a)	Rb-Sr 等时线 年龄 / (10 ⁶ a)	单颗粒锆石 U-Pb 年龄 / (10 ⁶ a)	时代
黑云母二长花岗岩（围岩）	110	176.9~201.6	211 ± 21		印支期
二长花岗岩斑岩	0.45	138	183.9 ± 1.0	188.3 ± 0.6	燕山早期
石英-绢云母蚀变岩	>2.0	绢云母 183.5			燕山早期

表 2 甲乌拉—查干银-铅-锌-铜矿田花岗岩、斑岩体与蚀变岩同位素年龄

岩性	面积/km ²	K-Ar 年龄 / (10 ⁶ a)	Rb-Sr 等时线 年龄 / (10 ⁶ a)	单颗粒锆石 U-Pb 年龄 / (10 ⁶ a)
花岗闪长岩 二长花岗岩	岩基，多处出露， >6	167.5~178.4 (钾长石、全岩)	225.4 ± 7.9	
玄武岩 闪长玢岩	广泛分布 0.1~0.2	144.0 (全岩) 132.8 (全岩)		
石英二长斑岩 花岗斑岩、石英斑岩	0.6 <0.2	121.0 (全岩) 109.9~115.5 (全岩)		139.2 ± 0.5
石英-绢云母化石英 二长斑岩	<0.1	绢云母 121		

1.2 乌山斑岩铜钼矿床成岩、成矿时代为燕山早期而非燕山晚期

乌奴格吐山系 80 年代探明的特大型斑岩铜钼矿床。关于其成岩成矿时代, 一直是本区研究的薄弱环节。从前根据二长花岗斑岩体的 1 件 K-Ar 年龄 ($138 \times 10^6 \text{ a}$)^[2], 认为系燕山晚期成矿。由于成矿期后本区仍有火山喷发与侵入活动, 矿区见次英安质角砾熔岩和岩脉切穿蚀变矿化体^[2]。K-Ar 年龄很可能受后期热事件影响而偏新。与蒙古境内斑岩铜矿(如 Erdentiin-ovoo) 印支-燕山早期^[11]或早侏罗世, 和我国东部主要斑岩铜矿如德兴(燕山早期, $179 \times 10^6 \sim 150 \times 10^6 \text{ a}$)^[6]相比较, 乌山这一年龄偏年轻, 与其所处构造位置(古亚洲成矿域与环太平洋成矿域之过渡带)相悖。带着这一疑问, 本文进行了系统精确的多方法同位素年龄测定^①。获得三组年龄: 二长花岗斑岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄 $(188.3 \pm 0.6) \times 10^6 \text{ a}$, 全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(183.9 \pm 1.0) \times 10^6 \text{ a}$, 蚀变岩绢云母 K-Ar 年龄 $(183.5 \pm 1.7) \times 10^6 \text{ a}$ (表 1)。它们分别代表岩浆侵位后开始结晶年龄, 岩浆冷却年龄和热液蚀变年龄。证明乌山铜钼矿床的成岩成矿时代为燕山早期(早侏罗世)。矿-岩时差约 $5 \times 10^6 \text{ a}$ 。

1.3 甲乌拉-查干银铅锌铜矿田燕山晚期成岩、成矿的同位素年代学证据

甲乌拉银铅锌铜矿床和查干银铅锌矿床相距 7 km, 由 NWW 向甲-查剪切构造带相连接。近年科研与勘查实践证实, 二者实为受控于同一主火山侵入活动中心与同一主热源——蚀变矿化中心的统一矿田^[1]。矿区内多期次火山杂岩体十分发育(表 2)。主成矿岩体为石英二长斑岩墙及其边缘相变产物花岗斑岩、石英斑岩, 侵位于火山喷发末期。其侵位年龄(由单颗粒锆石 U-Pb 年龄所代表)为 $(139.2 \pm 0.5) \times 10^6 \text{ a}$ ^[8], 而蚀变矿化中心部位蚀变绢云母(与脉状铜矿化相伴)K-Ar 年龄为 $121 \times 10^6 \text{ a}$ 。进一步确认为燕山晚期成矿^[3,8]。矿-岩时差在 $(18 \sim 20) \times 10^6 \text{ a}$ 左右(表 2)。

1.4 区域构造-岩浆作用及其演化

燕山期火山-侵入活动即是在印支期花岗岩基背景上发生的。印支期花岗岩基形成于碰撞-挤压构造背景, 燕山早期斑岩铜矿形成于 A 型挤压-俯冲稍晚期弱压性-中性构造背景, 燕山晚期脉状银、铅、锌、铜矿床和浅成低温银、金矿则形成于 A 型俯冲-挤压之后的松弛拉张构造背景。燕山早期, 本区开始形成沿 NE 向主干断裂展布的基性-中性-酸性偏碱性火山-次火山岩带及一系列的断陷盆地和相对隆起相间展布的断块构造格局。本区中生代火山岩以高硅、高铝、富碱, 特别是富钾、高 REE、Th、Pb、Zn 贫 Ca、Mg 为特征。常量、微量元素和 Nd-Sr 同位素揭示出, 中生代花岗岩、玄武岩、流纹岩呈类似演化趋势^[9]。晚阶段的次火山岩体更富 K_2O 、 Al_2O_3 、REE、Th、Pb 和 F。从燕山早期至晚期, 含矿斑岩体之磷灰石成分有显著不同, 早期高 CaO、Cl、 P_2O_5 , 低 REE; 晚期富 Na_2O 、FeO、MnO、REE 及 F、 SO_3 ^[9]。区域构造发展—火山-侵入岩浆活动—盆地演化与成矿作用表现出明显的一致性和演化方向性(图略)。主要矿化岩石为富钾钙碱性-偏碱性磁铁矿系列花岗岩类次火山斑岩体(岩株、岩墙和岩脉) ($190 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6 \text{ a}$)。含脉状矿化次火山岩体表现为同源岩浆演化最晚期产物。中酸性岩石可能主要来源于下部地壳安山质基底的部分熔融^[10], 不排除少量幔源物质的混合; 而偏基性岩石更可能是来自深部地幔的岩浆产物。

① 秦克章等, 1998, 内蒙古乌奴格山斑岩铜-钼矿床的成岩、成矿时代

2 斑岩 CuMo-次火山岩 AgPbZnCu-浅成低温 AgAu 成矿系统

2.1 控矿因素与矿床特征的系统变化及矿化分带

断裂构造、火山机构的控矿作用：得尔布干-呼伦深断裂控制着火山-岩浆岩带沿 NE 向展布，也是满洲里—新巴尔虎右旗多金属成矿带的控制构造。木哈尔、哈泥沟 NW 向次级断裂决定着乌奴格吐山—龙岭和甲乌拉—查干两个成矿亚带的展布。斑岩型矿床（如乌山）多位于基底隆起带中，大型银或银多金属矿床均于隆起区边部（如甲-查、额仁）或火山断陷盆地中相对隆起部位（如大坝、哈拉胜等）。规模较大的 NWW 向剪切构造带往往与热液脉型多金属矿床或矿田有关，如甲-查剪切构造带，含矿地段长度大于 6 km，是查干矿床的控岩控矿构造^[1]。不同方向构造交汇处、火山管道、火山穹窿、次火山岩体与斑岩系列矿床关系密切，如乌山铜钼矿床，定位于背斜隆起带上的 NE 与 NW 向构造交叉部位，矿体产于次火山复合管道构造及爆发破裂引起的放射状、环状裂隙中^[2]；额仁银矿床亦位于 NW 向与 NE 向断裂的交汇处。多期次、多旋回构造复合叠加对矿床形成更为有利。如甲乌拉矿区构造，最早经历了印支期花岗岩体侵入作用，形成 NE 向短轴倾伏背斜，然后受区域应力影响，使花岗岩与围岩接触带、层间构造复活，并产生 NNW 和 NW 向断裂，最后是浅成、超浅成岩浆岩侵入，特别是石英二长斑岩体沿背斜倾伏端上涌，使原有的构造得到进一步活动并产生了新的似放射状断裂系统，为矿液的运移和沉淀提供了良好的构造条件。

广泛而强烈的多期热液蚀变作用：本区与中生代火山-次火山岩相伴的热液蚀变普遍而强烈。局部地段甚至形成了叶腊石矿、明矾石矿。从区内几个大型矿床来看，其蚀变均具有多类型、多期次、分带性良好、规模较大（乌山 7 km²，甲-查 56 km²，额仁 5~8 km²）的特点，并且具有一定的中心。蚀变沿断裂带发育的线状及小范围内面状的石英-冰长石组合，多指示为独立银型矿化；石英-水云母-绿泥石-（铁锰）碳酸盐化组合与银-铅-锌-铜多金属型关系密切；石英-明矾石化组合，常为银-金-铜型矿化；钾化带、绢英岩化带、粘土化带三位一体则是斑岩铜（钼）矿化的典型标志。以乌山矿床热液蚀变过程中主、围岩 REE、硫同位素变化的互补性、钾化带与绢英岩化带流体温度、盐度垂向上的反向变化等证据，充分证实了乌山斑岩铜钼矿床热液对流的存在，建立了三重蚀变叠加演化模型^[9]。与此相对应的区域矿化分带，矿田、矿区范围内水平与垂直矿化分带均是很明显的。后者在甲-查矿田表现尤为显著^[1]（表 3）。

2.2 硫、氧同位素的系统变化

硫同位素：全区 4 大矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值在 +2.0‰~+2.6‰ 之间，均接近陨硫，反映均与深源岩浆热液活动有关； $\delta^{34}\text{S}$ 变化区间从斑岩型向脉状矿化到浅成低温矿化有变大趋势（4.2‰→6.9‰→9.1‰→8.5‰），反映晚期高位小岩体受上部壳源混染程度加大。

石英包裹体氧同位素：从斑岩 Mo 矿化到 Cu 矿化到 Ag-Pb-Zn-Cu 矿化和 Ag 矿化， $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 依次为 +6.3‰，+3.2‰，+1.4‰~-12.5‰，-3.4‰~-10.7‰。从早期到晚期，从深部到浅部，从热源中心到外围，岩浆水比例逐渐降低，而天水比例相应增高^[9]。

2.3 成矿流体温度、压力、密度、成分的系统变化

从乌山斑岩铜钼矿床→甲-查银铅锌铜矿床→额仁银矿床，流体包裹体均一温度范围相

应为 790~110 ℃, 480~120 ℃ 和 390~160 ℃, 盐度 (NaCl) 依次为 26%~56%, 2.3%~12.7% 和 3%~7.8%。密度、压力亦相应降低, 包裹体类型趋向简单化^[7,9]。

表3 沿甲-查剪切带矿体产状与矿化组合变化

构造带走向	西 ←—————→ 东				
赋存矿体	X	VI	I	V	E
矿化组合	ZnPbCuAg	PbZnAg	AgPbZn	AgPb	Ag
矿体倾角变化	83°	65° 55°	50°	50°	42°
矿体出露与否	隐伏	←———断续出露			←———出露完整
矿体侧伏趋势	向西侧伏趋势趋明显			←———侧伏不明显	

H₂O 是四类矿床包裹体气相成分的主体。其他气、液相成分则呈规律性变化。总体而言, 乌山斑岩铜-钼矿和额仁银矿沉淀环境氧化性较强, 而甲-查矿田则相对还原性较强^[9], 这应与后者的主要围岩为碳质板岩有关。

2.4 区域五层楼成矿系统模型

据上, 作者建立了额尔古纳南段中生代三期同源演化花岗质火山-侵入成矿系统的五层楼模型^[7,9] (图1)。由早到晚, 从深到浅, 由(火山)侵入中心向外侧依次为:

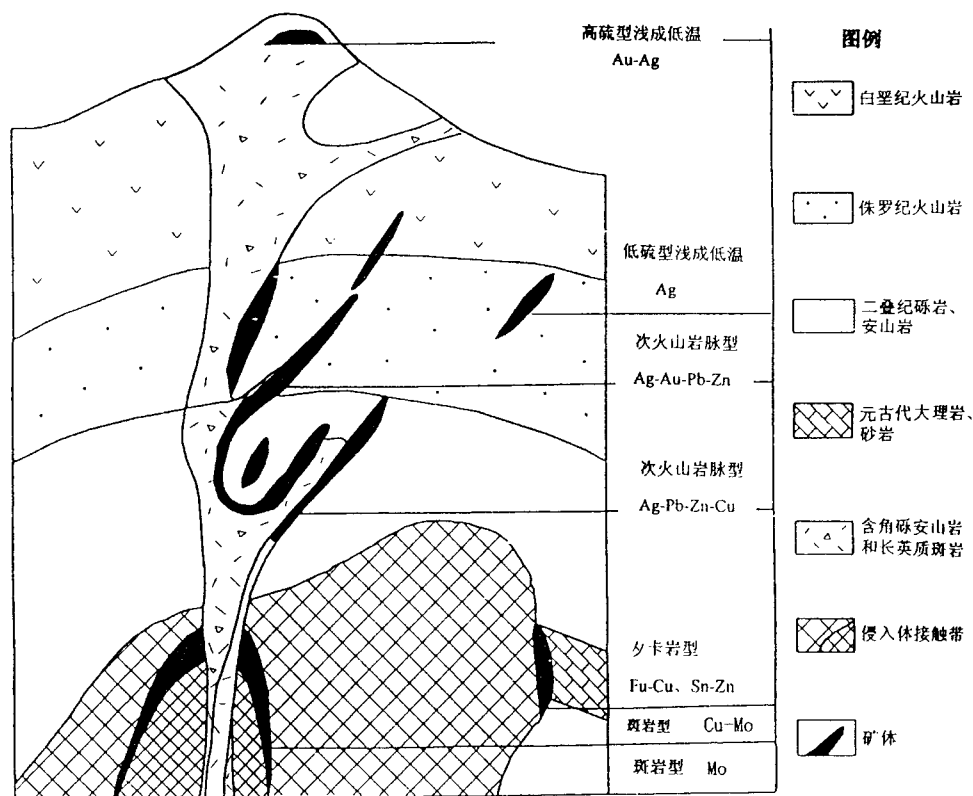


图1 额尔古纳南段中生代区域花岗质火山-侵入成矿系统模型

印支期：产于I型磁铁矿系列花岗质岩基接触带的夕卡岩型铜-铁或铜-锌-锡矿。

燕山早期：基底隆起带中的斑岩钼矿（下部）和斑岩铜（钼）矿（中部）（1500~2500 m深）。

燕山早期：次火山管道中及边部的脉状银-铅-锌-铜矿化；远离火山管道火山岩容矿的银矿化（低硫型）；火山管道顶部、火山锥中的金-银矿化（高硫型）。

国内外类似陆相火山-侵入成矿系统尚有：我国赣东北德兴斑岩铜矿（燕山早期）-银山银铅锌金铜-乐华铅锌银-金山金矿（燕山晚期）成矿系统^[4]，菲律宾远东南-那班陀斑岩铜矿-脉状-块状硫砷铜矿-砷黝铜矿-高硫型浅成低温热液金矿体系（第四纪）^[12,13]，智利安第斯中段斑岩铜矿（超大型）-EL Indio脉状铜矿（大型）-外围浅成低温金矿（特大型）成矿系统（第三纪）^[14]等。它们分别产于陆内、岛弧、陆缘环境。对该类成矿系统的深入剖析对于研究岩石圈演化与成矿作用对比和勘查实践均有重要意义，是当代地学研究的前沿领域^[9,13]。

工作中承蒙石原舜三教授、王之田教授悉心指导，还得到王玉往高工、孟昭君工程师、松枝大治副教授、田中亮吏博士、李佐汉教授的热情帮助，并从与J W Hedenquist博士、今井亮博士、A Jr Arribas博士的讨论中受益匪浅，特此谢忱。

参 考 文 献

- 1 孟昭君, 秦克章. 内蒙古甲乌拉-查干银多金属矿床地质特征-成矿中心与隐伏矿体预测. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6 (1): 24-30.
- 2 王之田, 秦克章. 乌奴格吐山下壳源斑岩铜钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源. 矿床地质, 1988, 7 (4): 3~15.
- 3 潘龙驹, 孙恩守. 内蒙古甲乌拉银铅锌矿床地质特征. 矿床地质, 1992, 11 (1): 45-53.
- 4 杨子江等著. 江西银山铜铅锌金银矿床. 北京: 地质出版社, 1996, 1~370.
- 5 秦克章, 田中亮吏, 李伟实, 石原舜三. 内蒙古满洲里地区印支期花岗岩存在的 Rb-Sr 等时线年代学证据. 岩石矿物学杂志, 1998, (3).
- 6 吴利仁, 李秉伦主编. 中国东部中生代两大类斑岩型矿床. 北京: 科学出版社, 1991, 1~150.
- 7 Qin K Z, Wang Z T, Pan L J. Magmatism and Metallogenic systematics of the southern Ergun Mo, Cu, Pb, Zn and Ag belt, Inner Mongolia, China. Resource Geology Special Issue, 1995, (18): 159~169.
- 8 Qin K Z, Tanaka R, Ishihara S, Meng Z J. K-Ar, Rb-Sr isochron and single zircon U-Pb ages and their significance of volcanic-intrusive complex in Jiawula-Chagan Ag-Pb-Zn-Cu orefield, NE- Inner Mongolia. Proceedings of the international symposium on the geologic and metallogenic correlation in the junction area among China, Russia and Mongolia, June 11~13, 1996, Manzhouli, 83~85.
- 9 Qin K Z. Metallogenic systematics of the intracontinental magmatism in the Southern Ergun Mo, Cu, Pb, Zn and Ag belt, Inner Mongolia, NE-China. D. Sc. Dissertation, Hokkaido University, Japan, 1997, 305p.
- 10 Roberts, M. P. and Clemens, J. D. Origin of high-potassium, calc-alkaline, I-type granitoids. Geology, 1993, (21): 825~828.
- 11 Gerel O. Mineral resources of the western part of the Mongol-Orhot foldbelt. Resource Geology Special Issue, 1995, (18): 151~158.
- 12 Arribas, A. Jr., Hedenquist, J. W., Itaya, T. et al. Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300ka in northern Luzon, Philippines. Geology, 1995, (23): 337~340.
- 13 Hedenquist, J. W. and Lowenstern, J. B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, 1994, (370): 519~527.
- 14 Jannas, R. R., Beane, R. H., Ahler, B. A. et al. Gold and copper mineralization at the El Indio deposit, Chile. J. Geochem. Explor. 1990, (36): 233~266.