

东南亚大型—超大型浅成低温热液 金矿床成矿地质特征研究

杨牧, 彭省临, 邵拥军

(中南工业大学地洼研究所, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 东南亚地区地处西太平洋构造—岩浆活动带上, 是中新生代以来地球岩石圈中最复杂的构造活动区之一, 也是全球浅成低温热液金矿床的重要产区之一。文章介绍了东南亚地区几个浅成低温热液金矿床的成矿地质背景、矿床地质特征, 分析了矿床形成环境及变化的原因、成矿物质来源和导致金在不同环境下沉淀的主要因素, 并讨论了浅成低温热液矿床形成的几个问题。

关键词: 浅成低温热液, 成矿地质背景, 金矿床, 东南亚地区

中图分类号: P611.1 P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2000)03-0224-07

位于西太平洋构造—岩浆活动带的印尼—菲律宾地区, 产有为数众多的浅成低温热液金矿床。该区是地球岩石圈中最复杂的构造活动区之一, 由于受到邻近的西太平洋壳体、印度和澳大利亚壳体自中生代以来的相互作用以及新生代亚洲陆缘扩张的影响, 自晚白垩世以来持续发生了强烈大规模的构造—岩浆活动。区内总的地质构造特征从洋到陆大致可分为海沟断陷带、非火山外弧隆起带、弧间褶皱断陷带、火山内弧褶皱隆起带及弧后褶皱断陷带 [1991, 刘以宣]。在火山岛弧内岩浆活动既有大规模钙碱性、中酸性的岩浆喷出活动, 又有不同规模和层次的侵入活动。区内分布的浅成低温热液金矿化与这些岩浆活动密切相关, 其中在局部地段, 如菲律宾吕宋岛上的碧瑶金成矿带、砂捞越的巴乌金矿区和印尼东加里曼丹和西爪哇金成矿带集中产有一系列大型—超大型浅成低温热液金矿床。

1 区域大地构造背景

菲律宾岛弧的雏形大致形成于晚白垩世 [1992, Daly], 从中渐新世到早中新世, 太平洋壳体从北西方向向亚洲大陆的会聚运动变成北西西向, 南海海盆在中新世开始发生近南北向的扩张使海盆东部地壳沿马尼拉海沟在吕宋岛中央山系之下发生消减作用, 导致在其南北两端发生碰撞, 结果之一是在中科迪勒拉山脉南部形成左旋压剪性的菲律宾断层, 同时发育走向主要为北西向和北东向的两大断裂构造体系, 成为与岛弧火山作用有关的热液活动的主要场所。

收稿日期 2000-04-16 改回日期 2000-07-09

作者简介 杨牧(1973-) 男, 贵州湄潭人, 博士研究生, 地质学专业。

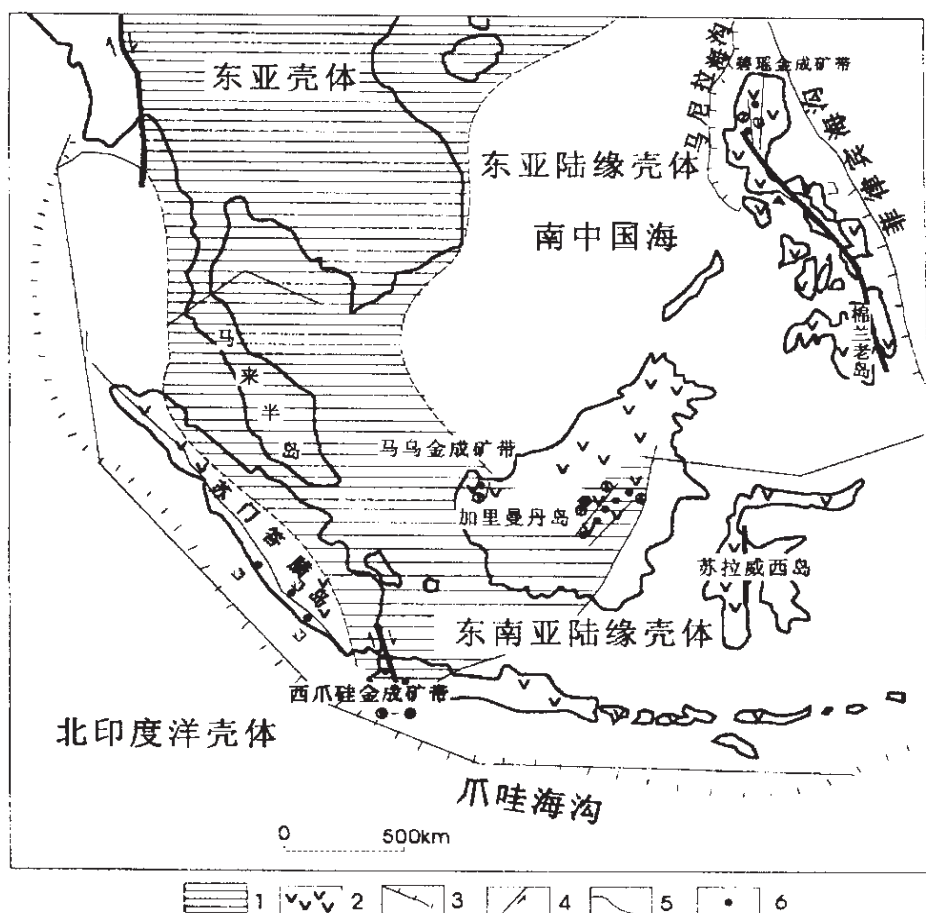


图1 东南亚地区大地构造及主要金矿带分布略图

Fig. 1 Regional geotectonics and distribution of chief gold deposit zones in Southeast Asia

1-前中生代大陆基底 2-新生代钙碱性岩浆活动带 3-现代海沟 4-断层 5-壳体分界线 6-主要金矿床
① -Lepanto; ② -Acupan-Antamocu; ③ -Bau; ④ -Muyup; ⑤ -Kelian; ⑥ -Mt. Muro; ⑦ -Masupa;
⑧ -Mirah; ⑨ -Cirotan; ⑩ -Cikondang; ⑪ -Lebong; ⑫ -Sabida; ⑬ -Manganl

在印尼的加里曼丹和爪哇,由晚古生代至中生代的变质岩组成 Sunda 陆架。沿爪哇长轴方向延伸的一系列活火山代表着印度—澳大利亚壳体对 Sunda 陆架南缘的会聚消减作用。这些火山主要由安山质熔岩和凝灰岩组成,爪哇第四纪火山的岩浆房位于贝尼奥夫带深达 100 ~ 200 km 的地带上,构成火山的熔岩是由消减的大洋地壳和上覆地幔的局部熔融产生的 [1985, 乔斯马, 等]。岩浆沿其通道到达地表的过程中受到地壳物质的混染。加里曼丹与新生代消减作用有关的火山岩带位于砂捞越西部卢帕断裂以南及南西,中新世的浅成火山岩及向西延伸的与沙巴到砂捞越西部海岸线平行的上新世—更新世火山岩带,提供了消减作用继续到第三纪末到第四纪的证据 [1968, Kirk ;1985, 乔斯马, 等]。消减带的形成与古南中国海盆的洋壳在晚白垩世开始向加里曼丹陆壳基底西北缘的碰撞有关。中加里曼丹地区渐新世—早中新世的火山岩可能是深部地壳重熔的结果 [1987, Williams and Harahap]。

表 1 东南亚地区几个浅成低温热液金矿床地质特征

Table 1 Geological characteristics of epithermal gold deposits in Southeast Asia

	Acupan - Antamocu 金矿床	Kelian 金矿床	Cirotan 金矿床	Bau 金矿床
区域控矿构造	近南北向菲律宾大断裂	北东向—北北东向断裂	北西向巴西散断裂	北东 Tai Parit 断层
矿区控矿构造	断裂构造和火山机构	与火山、次火山活动有关的断裂—裂隙系统	北东向走滑—正断层	北东向、北北东向陡倾断裂及背斜
有关火成岩	Virac 杂岩和部分安山质熔岩、火山角砾岩、凝灰岩	安山岩、流纹岩及火山碎屑岩	安山—英安质火山岩、细粒闪长岩	细粒花岗闪长岩、英安岩
围岩蚀变	外侧青磐岩化, 向内为冰长石和钾云母蚀变组合	绿泥石—碳酸盐—绢云母组合, 绢云母—石英—冰长石—碳酸盐组合	矿体外侧青磐岩化, 下盘硅化, 上盘强烈泥质蚀变	硅化为主, 次为泥质蚀变、碳酸盐化, 外围青磐岩化
主要矿化类型	石英脉、碳酸盐—石英脉和硬石膏脉	浸染状矿化, 细脉—网脉状矿化	含金石英脉	石英—方解石脉, 石英—硫化物脉
主要矿石矿物组分	黄铁矿, 毒砂, 白铁矿, 闪锌矿, 方铅矿, 磁黄铁矿, 辉锑矿, 辰砂, 自然金, 银金矿, 碲化物等	黄铁矿, 闪锌矿, 方铅矿, 磁黄铁矿, 毒砂, 自然金, 银金矿, 白铁矿	黄铁矿, 磁黄铁矿, 白铁矿, 闪锌矿, 方铅矿, 黄铜矿, 毒砂, 方锑金矿, 自然金, 银金矿等	黄铁矿, 毒砂, 辉锑矿, 自然砷, 雄黄, 雌黄, 方铅矿, 闪锌矿, 黄铜矿, 自然金, 银金矿等
脉石矿物组分	石英, 方解石, 冰长石, 硬石膏, 蔷薇辉石, 菱锰矿, 明矾石, 绢云母	绿泥石, 方解石, 绢云母, 绿帘石, 菱锰矿, 石英, 碳酸盐, 冰长石, 高岭石	石英, 绢云母, 绿泥石, 冰长石, 石膏, 硬石膏, 方解石, 菱锰矿, 蔷薇辉石	方解石, 石英, 绿泥石, 绿帘石, 冰长石, 菱锰矿, 玉髓等
成矿均一温度	原生包裹体 255 ~ 285℃ 次生包裹体 205 ~ 245℃	主成矿期 290 ~ 330℃ 成矿后期 < 200 ~ 295℃	200 ~ 290℃	210 ~ 315℃
盐度	0.4 ~ 4.6% NaCl	0.5 ~ > 10% NaCl	2.9 ~ 7.2% NaCl	3 ~ 4% NaCl
pH 值	弱酸性 (pH > 4) ~ 弱碱性 (pH > 7)	偏酸性。早期 pH > 5 ~ 6 晚期 pH = 3 ~ 5		

2 几个典型浅成低温热液金矿床的地质特征

表 1 是东南亚几个典型浅成低温热液金矿床的地质特征。这些矿床包括了菲律宾吕宋岛北部碧瑶矿区的 Acupan-Antamocu 金矿床、印尼东加里曼丹省的 Kelian 金矿床、爪哇西部的 Cirotan 金矿床和西砂捞越的 Bau 金矿床。这些矿床都具有低硫化型浅成低温热液矿床的典型特征, 成矿作用与区域岩浆活动在时间和空间上有密切联系。深大断裂对矿床定位具有区域控制作用, 但矿化通常发生在次级分支断层或与火山热液活动有关的断裂裂隙之内。矿化虽然与火成岩关系密切, 但对围岩的选择性并不明显。例如在 Acupan-Antamocu 金矿床, 矿脉既出现于渐新世—上新世的侵入岩体内, 又出现于同期的火山岩及火山沉积岩系中。在 Bau 矿区, 矿脉产于英安岩、细粒花岗闪长岩岩脉、小岩株及灰岩、页岩中。确定热液活动及发生矿质沉淀的主导因素是围岩原生和次生渗透性能力的大小和与此有关的沉淀环境的变化。在不透水层或弱透水层中发生侵入作用之处, 沿侵入体边缘断裂渗透性增强, 于是成为流体通道, 如 Kelian 金矿床。而在高渗透性的岩石单元, 岩层发生硅化可使其变脆而对以后的断裂作用敏感性增大, 如 Acupan-Antamocu 金矿床和 Cirotan 金矿床。次生渗透性则与断层和断裂裂隙有关, Bau 地区靠近侵入体的灰岩围岩中, 断裂裂隙发育。具高渗透性的岩层单元成为流体活动和矿质发

生沉淀的有利场所。所有这些矿床的形成都是成矿作用多阶段叠加的结果,矿化特征为开发孔隙和/或空洞充填,具多期角砾岩化作用,矿石大多具有壳层条带状、细梳状晶簇结构、条带状石英-玉髓、晶洞、孔洞、脉状角砾岩等。

3 矿床形成环境及变化的原因

(1) 浅成低温热液活动的地质构造环境 从这几个矿床形成的地质构造环境来看,下伏地层的性质似乎对矿床的影响不大。Kelian 和 Bau 金矿床产于成熟的大陆壳型壳体区,地壳演化已发展到地洼阶段;而 Cirotan 则产于大洋壳型壳体向大陆壳型壳体过渡阶段的雏陆壳型壳体,下伏基底为大洋岩石圈的变质基性-超基性岩。但矿床都产于与消减作用有关的岩浆活动带,与成分上从流纹岩、英安岩到安山岩的钙碱性-高钾钙碱性火山、次火山岩岩性有关。火山机构、断裂构造及与热液活动有关的裂隙系统是成矿流体活动及发生沉淀的有利场所,它们控制了矿床的就位空间。

(2) 流体的性质 从表1中可以看出,这些矿床在主成矿阶段的温度范围变化在200~330℃之间,与世界上大多数浅成低温热液金矿床的成矿温度一致。成矿流体以低盐度、高CO₂含量为特征,但在不同阶段有所变化,尤其是 Kelian 金矿床。导致流体性质发生变化的原因有几种可能:①岩浆活动的再次活化使岩浆组分叠加在原来的热液系统中;②出溶的岩浆流体变成热液流体;③次生含水矿物的生成或相分离导致水分的减少;④不同性质流体的混合;⑤随着矿质的沉淀,成矿溶液的浓度从早期到晚期下降。前三种原因均可使流体中的盐度增高。流体的pH值在矿床形成过程中变化较大,并以偏酸性为主,但这仅仅影响金在流体中的搬运形式。

(3) 成矿物质来源 在 Cirotan 金矿,不同成矿阶段中方铅矿的同位素组成非常近似,相对高放射成因比值($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.741 \sim 18.789$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 1.657 \sim 15.702$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 39.049 \sim 39.188$)及高 μ 值($^{208}\text{U}/^{204}\text{Pb} = 9.92 \sim 10.04$),反映成矿物质的单一来源,并且与矿区内上新世火山岩,尤其是 Citorek 英安质熔结凝灰岩非常接近,表明矿床与上新世爪哇火山岛弧中的钙碱性火山岩有关。硫同位素值变化在 $(0.4 \sim 2.9) \times 10^{-3}$ 之间,反映成矿物质主要来自幔源,有少量陆壳基底物质的参与。据研究, Kelian 金矿床成矿物质主要来自岩浆源[1990, Van Leeuwen, Leach *et al.*]。Acupan-Antamocu 金矿床自然金和碲化物的共生可能是金和碲均来自岩浆的结果,但也可能有部分来自容矿围岩或地壳深部基底[1996, Cooke]。在 Bau 金矿带,临近侵入体的矿体中的一些石英包裹体内高温高盐度特征及含有少量子矿物晶体表明,成矿流体至少部分来自岩浆源[1990, Percival]。

(4) 导致金沉淀的主要机制 无论金在流体中以何种形式迁移,温度降低、pH值和fO₂条件的改变、介质中有效配位体浓度的降低以及与大气的混合作用和沸腾过程都能有效地导致金的沉淀。但沸腾作用可能是这些矿床中导致金沉淀的主要机制。各矿床中均出现冰长石,发育玉髓质条带、多孔洞的矿脉和强烈角砾岩化,以及矿床中流体包裹体的研究等均证实,这些矿床在形成过程中发生过减压沸腾作用。沸腾作用发生的直接原因是地表浅部大量裂隙的存在形成减压空间,流体在上升过程中产生强大的水头压力,在近地表处压力释放导致流体发生沸腾并使周围岩石破碎。沸腾过程中温度、压力降低和挥发组份的逸出改变流体的物理化学性质,使金及其他成矿元素沉淀。岩浆流体与大气水的混合作用可能也是导致金属矿物发生沉淀的主要因素之一,这也可以同时发生在沸腾作用过程中。

4 有关浅成低温热液矿床的几个问题

4.1 浅成低温热液矿床的定义

浅成低温热液矿床的定义最初是由 Lindgren (1933) 提出的,是由“成因不定的,但携带有火成射气的上行热水形成的,成矿作用和金属矿物浓集作用发生在浅部”,并强调这类矿床“与热泉的产物有明显相似之处”。当这类矿床越来越多的信息得到研究之后,Lindgren 提出的浅成低温热液矿床的部分特征(如成矿深度)就不再合适了。对此,White & Hedenquist (1990) 及 White (1995) 提出浅成低温热液矿床是指那些具有较低的成矿温度范围(100 ~ 320℃,以 170 ~ 280℃ 为主),具特征的热液蚀变 [1986, Bonham; 1987, Heald *et al.*] 和具特征的结构 [1983, Berger & Eimon] 的矿床。根据传统分类,一些矿床很难将其划分,如 Kelian 金矿床。由于该矿床具有较高的成矿温度(主要 290 ~ 330℃),矿化在空间上与侵入体而不是高位火山岩有关,矿化延伸较大(达 600 m 以上)且硅化不太发育等。但是其具有典型低硫化型浅成低温热液矿床的矿物组合,冰长石-绢云母蚀变及锰-碳酸盐,矿体大部分产于热液角砾岩中等,因此仍可将其划为浅成低温热液矿床。

4.2 同一成矿地质背景中的浅成低温热液矿床与斑岩型铜、金矿床

浅成低温热液金矿床也可以与斑岩铜-金矿床或矽卡岩伴生。Bau 地区的浅成低温热液金矿床、斑岩铜-金矿床和矽卡岩形成于统一的地质构造环境中,空间关系密切,并在成因上都与中中新世钙碱性岩浆活动有关;在菲律宾,包括碧瑶在内的大多数金矿区,闪长岩及石英二长岩侵位于安山岩盖层之下,浅成低温热液金矿床形成于下伏斑岩铜矿的顶部并具同样的成矿年龄,在 Lepanto 矿区,在空间上这两类矿床的蚀变和矿化形成统一的整体。Panteleyev (1985) 在总结不列颠哥伦比亚浅成低温热液矿床模式时也指出,在不列颠哥伦比亚 Toodog-gone 地区,从斑岩铜矿及矽卡岩经过过渡带矿床到浅成低温热液矿床和热泉喷出矿床,是一个连续的统一体。不同类型矿床产出空间位置与距离侵入体的远近有关,远离岩体的部位,岩浆流体演变成热液流体,或大气水参与成为主要的成矿流体,岩浆活动提供热源驱动流体循环并从围岩中萃取部分成矿物质。因此,浅成低温热液金矿床一般产于远离侵入体的部位。但是这可能只适合于火山岛弧环境。如在地壳演化程度较高,上覆岩层较厚的加里曼丹地区,洋壳在其深部的消减作用可能只是发生高位的岩浆侵入,火山活动较弱或不发育,在有利的地质构造环境中,浅成的岩浆侵入也可形成相同系列的矿床组合。

4.3 部分成矿元素来自下地壳和上地幔岩石圈的演化

在壳体的会聚边缘,由洋壳的受阻岩板在下地壳和上地幔的消减作用引起的岩浆活动带,是浅成低温热液矿床形成的典型大地构造环境。洋壳在俯冲带下沉时携带裂隙水以及页岩和卤化物的氢氧根成分,在下沉过程中发生变质并在一定深度发生熔融生成硅酸盐熔浆 [1997, Burham; 1999, 岑况]。当固体和熔浆的混合物下沉到数十公里的深部,熔浆开始上升并熔融或同化部分的岩石,生成含水钙碱性岩浆,同时释放出铜、金等成矿元素。这些含水岩浆可以形成岛弧火山,也可在上地壳较厚的大陆边缘发生高位侵入。在浅部有利的地质构造环境中形成浅成低温热液矿床或斑岩型铜-金矿床。

5 结 论

自新生代以来东南亚地区强烈的构造-岩浆活动是发生浅成低温热液金矿化的最有利的

大地构造环境,没有任何特别的原因可以解释为什么在该区形成了如此众多的大型、超大型金矿床[1997,西利托]。就不同矿床而言,其个性的差异是显而易见的,其成矿时代和空间的产出位置同时也代表着不同地段在不同时期岩浆活动的某种联系。总的说来,钙碱性-高钾钙碱性火山、次火山活动是形成浅成低温热液金矿床最有利的地质构造背景。下伏基底可能为金的成矿作用提供了部分成矿物质,但最主要的还是为形成该区的成矿元素组合提供了物质基础,如Bau地区的Au、Hg、As、Sb成矿组合以及西爪哇金成矿带与泰—马、苏门答腊W、Sn成矿带的成因联系[1994, Milési],反映了深部基底成矿的继承性。但是金的最主要来源来自深部上地幔和下地壳岩石圈,而浅部的围岩岩性及其物理化学性质、局部构造发育程度等最终决定了浅成低温热液金矿床的就位。

参考文献:

- 1968 Kirk H J C. Igneous Rocks of Sarawak and Sabah[R]. Geological Survey Borneo Region, Malaysia, Bull 5.
- 1985 乔斯马 D, 巴伯 A J. 东亚构造与资源研究[M]. 北京:地质出版社, 54~159.
- 1986 Williams P R & Harahap B H. Geochemistry, age and origin of post subduction intrusion rocks in West Kalimantan and Sarawak[R]. Bull Geol Res Dev Centre, 43~54.
- 1989 Simmons S F & Browne P R L. Mineralogic, alteration and fluid-inclusion studies of epithermal gold-bearing veins at the Mt. Muro prospect, Central Kalimantan(Borneo), Indonesia[J]. J of Geochem Explor, (34): 63~104.
- 1990 Percival T J, *et al.* Relationship among carbonate-replacement gold deposit, gold skarns, and intrusive rocks, Bau mining district, Sarawak, Malaysia[J]. Mining Geology, 40(1).
- 1990 Van Leeuwen M, Leach T, *et al.* The Kelian disseminated gold deposit, East Kalimantan, Indonesia[J]. J of Geochem Explor, (35): 1~61.
- 1991 刘以宣. 南海大地构造与陆缘演化[J]. 大地构造与成矿学, 8(3): 209~226.
- 1992 Daly M C, 等. 印尼新生代板块构造和盆地演化[J]. 海洋地质译丛, (1): 50~62.
- 1992 Mitchell A H G. 菲律宾浅成热液金矿体系[J]. 国外火山地质, (2): 23~29.
- 1994 Milési J P, Marconx E, *et al.* Cirotan, West Java, Indonesia, a 1.7 Ma hybrid epithermal Au-Ag-Sn-W deposit [J]. Econ Geol, 89(2): 227~245.
- 1995 Wilford G E. Gold Deposits of the Bau Area, West Sarawak[M]. Government Printing Office, Kuching, Sarawak.
- 1995 White N C, Leake M J, *et al.* Epithermal gold deposits of the Southwest Pacific[J]. J of Geochem Explor, (54): 87~136.
- 1997 Burham C W. Magmas and hydrothermal fluids[M]. In: Barnes H C (eds) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. (3rd ed) New York: John Wiley & Sons, 63~118.
- 1997 Cooke D R, McPhail D C. 菲律宾地区浅成热液金矿化:地质学、矿化作用、蚀变作用以及矿石沉淀的热化学环境[J]. 国外矿床地质, (2).
- 1997 西利托 R H. 环太平洋地区最大斑岩铜-金矿床和低温热液金矿床的特征和控制因素[J]. 国外地质科技, (8): 8~20.
- 1998 Hedenquist J W, *et al.* Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines[J]. Econ Geol, 93(4): 373~404.
- 1999 岑况. 幔-壳地球化学演化和岩浆期后金属富集成矿的历程[J]. 地学前缘, 60(2): 375~383.

A STUDY ON THE GEOLOGICAL CHARACTERS OF GIANT-SUPERGIANT EPITHERMAL GOLD DEPOSITS IN SOUTHEAST ASIA

YANG Mu, PENG Sheng-lin, SHAO Yong-jun

(Institute of Diwa Theory, Central South University of Technology, Changsha 410083, China)

Abstract: Southeast Asia, being a part of the Circum-Pacific tectono-magmatic belt, is one of the most complex tectonically active regions since the Mesozoic. Also, it is an important area of epithermal gold ore-deposits localities. By the introduction of geotectonics, mineralized geological background and characters of several epithermal gold deposits in Southeast Asia, the ore-forming circumstance and its causes of changes, mineralizing materials' sources and the main reasons for gold deposition in different conditions was discussed. Several factors forming epithermal gold deposits in the area have been discussed in this paper.

Key words: Epithermal; geological background of mineralization, gold deposit, Southeast Asia