

西伯利亚地台西南部 某些金矿床地质学与地球化学

Л. Б. 阿拉宾

(俄罗斯科学院西伯利亚分院地质地球物理矿物学联合研究所)

西伯利亚地台西南缘加里东褶皱系中, 金矿床发育有两种建造类型: a. 金—硫化物—石英建造; b. 金—矽卡岩建造。它们形成于古岛弧的地动力学构造环境, 一般位于蛇绿岩建造带中, 成因上与原地型深成花岗岩类岩体有关。矿石的伴生元素有 Cu、Pb、Zn, 丰度值一般高于围岩 10—20 倍。As、Sb、Mo、W、Bi、Te 等元素可作为工业矿体之标志性元素。

关键词 西伯利亚地台西南部 金矿地球化学 建造类型 深成花岗岩

西伯利亚地台西南缘加里东褶皱带中广泛分布有不同建造、不同成因的深成热液金矿床。此种类型金矿床形成于褶皱构造发育的岛弧阶段, 分布于古大洋向古大陆过渡的铁镁—硅铝地壳之上 (Алабин, 1991)。在空间上金矿床主要分布于蛇绿岩带, 并有原地深成花岗岩体穿插。下面简述在不同物质组分围岩中金矿床之特征。

1 “中央”矿田 (图 1)

该矿田产在“中央”深成花岗岩体 (ϵ_3 —O) 中部。中央花岗岩体侵入于安山—玄武玢岩及其凝灰岩 (ϵ_2) 中, 呈岩盖状, 并具分带特点, 其中心部分为花岗闪长岩, 边部为石英闪长岩、闪长岩及辉长—闪长岩成分的混染岩, 含大量的围岩残体。深成花岗岩又为花岗细晶岩、细晶岩、伟晶岩 (第一期岩墙)、斜长煌斑岩、闪长岩、辉绿玢岩 (第二期岩墙) 所穿插。

矿田中的金—硫化物—石英脉 (超过 200 条) 主要充填于走向北西 (300 — 330°)、北东 (30 — 60°) 的剪切裂隙和近东西向 (60 — 120°) 裂隙中, 倾角 35 — 60° 。围岩蚀变主要为黄铁绢英岩化。矿田中具有明显的纵向和横向 (自南至北) 矿物和地球化学分带性, 自下而上, 自岩体中央到边缘地球化学分带组合为: Mo、W $\rightarrow$ Cu、Zn、Pb $\rightarrow$ As、Sb、Hg。

2 “共青团”矿田 (图 2)

该矿田产于由橄榄辉长岩、含黑云母辉石—角闪石辉长岩、辉长苏长岩、辉长—闪长岩

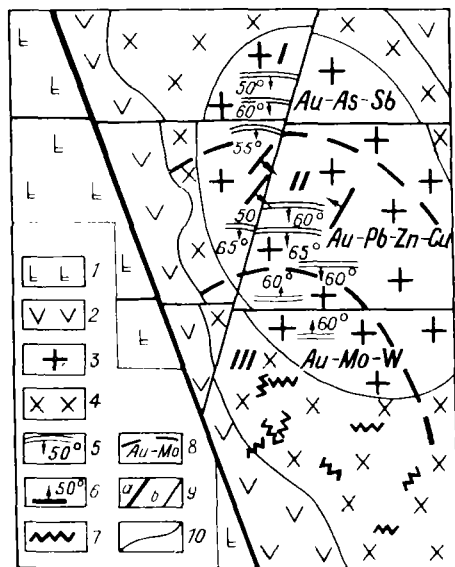


图1 “中央”矿田

Fig.1 The “Central” orefield

1—中寒武世至奥陶纪火山岩；2—中寒武世火山岩；3，4—“中央”深成花岗岩体（ ϵ_2 —O），其中3—花岗闪长岩，4—石英闪长岩、闪长岩；5，6，7—金—硫化物—石英脉系，其中5—充填于近东西向张性断裂裂隙中，6—充填于北东向的剪切裂隙中，7—个别的金—硫化物石英脉；8—矿物—地球化学分带界限；9—深断裂（a），羽状断裂（b）；10—地质界限

1—Middle cambrian—ordovician volcanic rocks；2—Middle cambrian volcanic rocks；3，4—The “central” plutonic granite（ ϵ_2 —O），3—Granodiorite，4—Quartz diorite and diorite；5，6，7—Gold—sulfide—quartz veins，5—The veins filling in tensional fractures striking near EW，6—The veins filling in shear fractures striking near NE，7—Gold—sulfide—quartz veins；8—Limit of mineral and geochemistic zones；9—Deep fault（a），feather fracture（b）；10—Geological limit

金—硫化物—石英脉（计150条）主要充填于辉长岩中走向NW310—330°、NE30—60°的剪切裂隙及近东西向张性裂隙中，倾角一般在30—35°至50—60°之间。矿体经常伴随有辉长—闪长岩、闪长岩、花岗细晶岩、细晶岩岩墙出现。近矿围岩蚀变有辉长岩类的滑石菱镁片岩化和花岗岩类的黄铁绢英岩化。

矿田中具有明显的矿物—地球化学分带

性，如在辉长岩体的南东边部与深成花岗岩体之接触带上形成有高温的石英—黄铁矿—黄铜

和闪长岩（ ϵ_2 ）组成的侵入体中。该岩体分布于里菲—文德期的大理岩化灰岩、白云岩、碳质—硅质片岩、钠长绿泥阳起片岩，下寒武统含古杯化石的块状灰岩，中寒武统安山—玄武玢岩中，并为晚寒武世—奥陶纪细晶岩、伟晶岩、花岗细晶岩、花岗正长岩、花岗闪长岩岩墙、岩株所穿切，成因上可能与矿田东南3—5km处的深成花岗岩体有关。

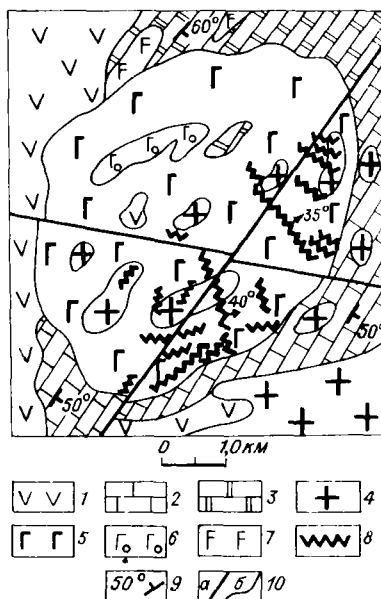


图2 “共青团”矿田

Fig.2 The “Comsomol” orefield

1—中寒武统中—基性火山岩；2—下寒武统致密块状古杯灰岩；3—上里菲至早寒武世沉积—火山岩地层；4—晚寒武世至奥陶纪中—酸性岩；5，6—中寒武世“共青团”辉长岩岩株，其中5—基性岩，6—超基性岩；7—上里菲至早寒武世基性岩；8—金—硫化物—石英脉；9—岩石产状要素；10—断裂（a）、地质界线（b）

1—Middle cambrian intermediate—basic volcanic rocks；2—Compact massive archaeocyathus limestone of the lower cambrian；3—Sedimentary volcanic strata（ R_3 — ϵ_1 ）；4—Late cambrian—ordovician intermediate—acidic rocks；5，6—The “Comsomol” gabbro stock，5—Basic rock，6—Ultrabasic rock；7—Basic rock（ R_3 — ϵ_1 ）；8—Gold—sulfide—quartz vein；9—Rock occurrence；10—Fault（a），Geological limit（b）

矿脉和近脉石英—绢云母—黄铁矿矿物组合体, 向辉长岩体之中心部位则为中—低温的石英—多金属硫化物及石英—黄铁矿—毒砂矿脉所取代。近脉蚀变有绿泥石—方解石化及绿泥石化。与之同时, 沿上述方向石英脉中的气液包裹体均一化温度自 480—320℃ 下降到 360—220℃; 金的成色由 870 下降到 730。

上述矿物—地球化学及温度分带性对于深成花岗岩体来说是正相关性; 而对于辉长岩体来说则为反相关性。沿金—硫化物—石英脉分布的辉长岩的滑石菱镁片岩化和花岗岩的黄铁绢英岩化, 以及伴随的细晶岩、花岗细晶岩成分的岩墙, 表明金矿化与深成花岗岩的形成作用有关, 其成矿时代与“中央”岩体的形成时代相近。

3 别里库里矿田 (图 3)

该矿田产于中寒武世安山—玄武玢岩中, 并有同岩浆型辉长岩、辉长—苏长岩、辉长—闪长岩岩墙、岩株出现。在矿区西部, 安山—玄武玢岩不整合于下寒武统古杯灰岩之上; 而在东部则见有晚寒武世—奥陶纪的闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩侵入于其中。由于深成花岗岩体之作用, 玢岩强烈角岩化 (形成辉石斜长角岩、角闪斜长角岩)、花岗岩化。该矿田的金—硫化物—石英矿脉 (200 条) 及金—硫化物矿脉, 一般呈透镜状或不规则脉状分布。北西、北东走向剪切断裂和近东西向张性断裂为控制矿体分布之主要构造因素, 一般倾角为 10—20° 至 35—65°。控矿构造主要发育在脆性硅铝质岩石中, 而在塑性的碳酸盐岩石中, 一般多趋于尖灭, 故热液型金—硫化物—石英脉多发育在硅铝质岩石中; 在碳酸盐岩石中多发育有金—硫化物热液交代型矿体, 有时此种矿体亦见于碳酸盐与铝硅酸盐岩石之接触带上。沿金—硫化物—石英矿脉发育的近矿围

岩蚀变有黄铁绢英岩化或滑石菱镁片岩化; 沿金—硫化物矿脉则有阳起石化、碳酸盐化、硫化物矿化等。矿田中围岩与深成花岗岩体之接触带上亦见有矿物—地球化学分带现象, 自东向西蚀变减弱, 同时, 石英脉中之气液包裹体均一化温度亦从 520—360℃ 下降到 480—220℃, 从而表明金矿化与深成花岗岩体之贯入作用密切相关。

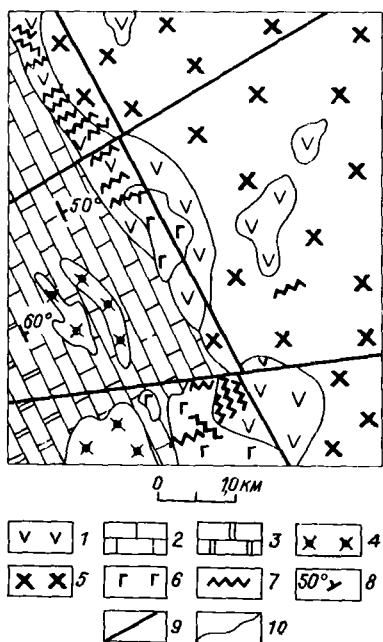


图 3 别里库里矿田

Fig. 3 The Bericule orefield

1—中寒武统火山岩; 2—下寒武统致密块状古杯灰岩; 3—上里菲至早寒武世沉积—火山岩系; 4, 5—晚寒武世至奥陶纪深成花岗岩类; 4—闪长玢岩, 5—中—酸性岩; 6—中寒武世中—基性岩; 7—金—硫化物—石英脉、碳酸盐—石英脉; 8—岩石产状要素; 9—断裂; 10—地质界限

1—Middle cambrian volcanic rocks; 2—Compact massive archaeocyathus limestone of the lower cambrian; 3—Sedimentary—volcanic rock series ($R_3—E_1$); 4, 5—Granitoid pluton, ($E_3—O$), 4—Diorite porphyrite, 5—Intermediate—acidic rocks; 6—Mid—cambrian intermediate—basic rocks; 7—Gold—sulfide—quartz vein and carbonate—quartz vein; 8—Rock occurrence; 9—Fault; 10—Geological limit

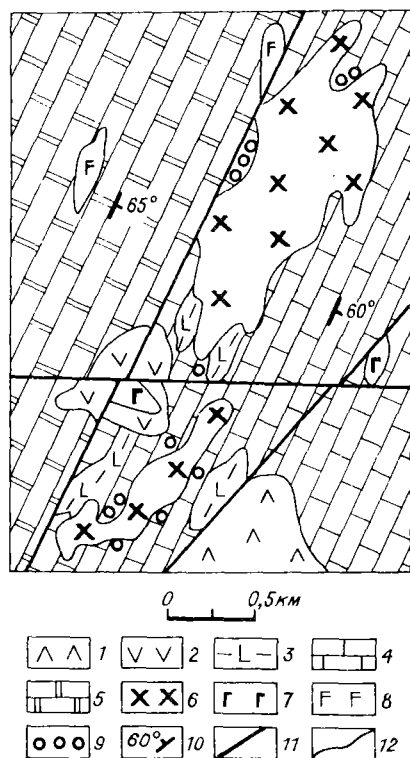


图 4 纳塔里也夫矿田

Fig. 4 The Nataliev orefield

1—下泥盆统火山—沉积岩建造；2—中寒武统中—基性火山岩；3—下寒武统基性火山岩；4—下寒武统碳酸盐岩；5—上里菲至下寒武统沉积—火山岩地层；6—晚寒武世—早奥陶世中酸性岩；7—中寒武世中—基性岩；8—上里菲至早寒武世中—基性岩；9—砂卡岩；10—岩石产状要素；11—断裂；12—地质界线

1—Early devonian volcanic—sedimentary rock formation; 2—Mid-cambrian intermediate—basic volcanic rocks; 3—Early cambrian basic volcanic rocks; 4—Early cambrian carbonate; 5—Sedimentary—volcanic strata ($R_3—E_1$); 6—Late cambrian—early ordovician intermediate—acidic rocks; 7—Mid-cambrian intermediate—basic rocks; 8—Basic—intermediate rocks ($R_3—E_1$); 9—Skarn; 10—Rock occurrence; 11—Fault; 12—Geological limit

4 纳塔里也夫矿田 (图 4)

该矿田产于下寒武统致密块状古杯灰岩中，该灰岩夹有白云岩、玄武—辉绿玢岩薄层。上述沉积—火山岩层又为中寒武世辉长岩、辉长苏长岩、辉长闪长岩岩墙及晚寒武世—奥陶纪的闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗正长岩岩株所穿切。在花岗岩岩株的热晕带及铝硅酸盐岩石与碳酸盐岩石之接触带上发育有镁质尖晶石—金云母、金云母—透辉石砂卡岩，为花岗岩侵入体形成过程中岩浆阶段的产物；同时，还见有热液阶段形成的钙质辉石—石榴石、石榴石—硅灰石、透闪石扩散型和渗透型砂卡岩。镁质砂卡岩矿物共生组合的形成与岩浆期后热液作用密切相关，并形成交代型蛇纹石、金云母、透闪石；金—硫化物和金—硫化物—石英矿化均可见于上述两种类型砂卡岩中。

5 费德洛夫矿田 (图 5 略)

该矿田中同时存在有砂卡岩型和石英脉型两种金矿化，因此，对于研究矿物组成和地球化学特点及金—砂卡岩与金—硫化物—石英矿化组合之间的相互关系十分有利。矿田位于晚寒武世—奥陶纪花岗岩类岩体及其晕带中。该类侵入岩体主要由花岗闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗正长岩所组成，其中发育有含黄铁绢英岩的石英脉或方解石—石英脉。花岗岩之外的热晕圈及铝硅酸盐与碳酸盐岩石之接触带上发育有钙质辉石—石榴石、辉石—石榴石—硅灰石、石榴石—符山石砂卡岩及角岩。金矿化主要集中于热液蚀变带中，即在再结晶和硅化砂卡岩中。上述矿床地质调查、构造填图及矿物—地球化学研究结果表明，被含金—硫化物—石英矿化的片理化带所穿切的砂卡岩一般多系重结晶、硅化并富含金—硫化物矿体。

综上所述，本区金矿床，根据矿物共生组合可划分为：①金—硫化物—石英矿化建造；②金—砂卡岩矿化建造（表 1 略）。

金矿田的地球化学研究表明，金、银矿化的伴生元素有 Cr、Ni、Co、Ti、Mn 及 Cu、Pb、Zn 等（图 6）。在近矿蚀变岩（黄铁绢英岩、滑石菱镁片岩）中 Cr、Ni、Co、Ti、Mn 的含量减少 1.5—2.0 倍，而 Cu、Pb、Zn 增加一个数量级，在矿石中前者减少 5—10 倍，后者增加 1.5—2.0 个数量级。在岩石和矿体中，Au、Ag 的含量与 Cu、Pb、Zn 呈正相关关系。此外，

在近矿蚀变围岩和矿石中还见有 As、Sb、Sn、Bi、Cd、Mo、W、Be、Te 等元素, 并可作为普查工业矿床的直接标志。

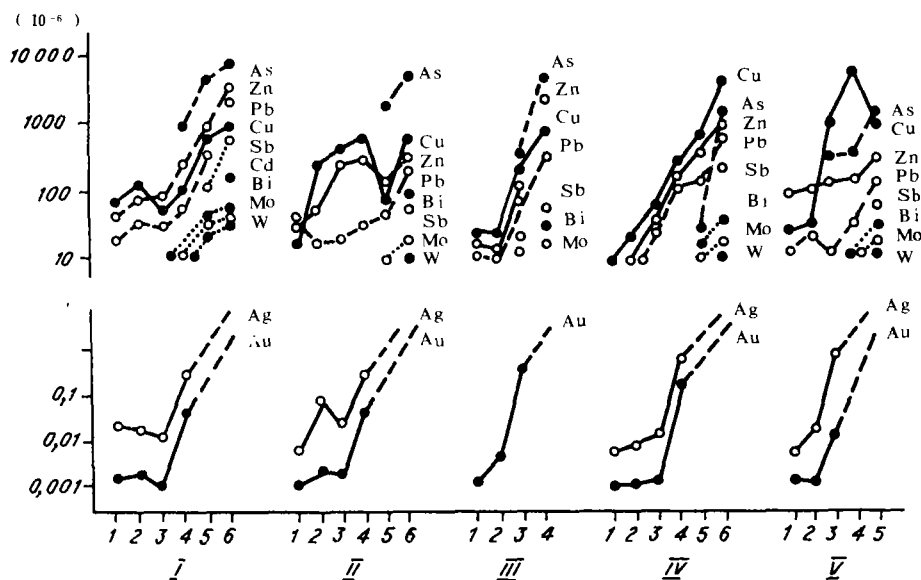


图6 西伯利亚地台西南部金矿床岩石及矿石中元素分布简图

Fig. 6 Diagrammatic map showing the distribution of rocks and elements of gold deposit in the southwest of Siberian

I — “中央”矿田: 1—安山—玄武玢岩、凝灰玢岩; 2—石英闪长岩、闪长岩; 3—花岗闪长岩; 4—黄铁绢英岩化花岗闪长岩; 5—黄铁绢英岩; 6—金—硫化物—石英脉。II — “共青团”矿田: 1—花岗细晶岩、细晶岩; 2—辉绿岩及辉绿玢岩; 3—辉长岩; 4—滑石菱镁片岩化辉长岩; 5—滑石菱镁片岩、黄铁绢英岩; 6—金—硫化物—石英脉。III — 别里库里矿田: 1—安山—玄武玢岩、凝灰玢岩; 2—角岩化、花岗岩化安山—辉绿玢岩; 3—黄铁绢英岩; 4—金—硫化物—石英脉。IV — 纳塔里也夫矿田: 1—矿田范围外的灰岩及大理岩化灰岩; 2—矿田内大理岩化灰岩、大理岩; 3—沿碳酸盐岩石发育的砂卡岩; 4—沿铝硅酸盐岩石发育的砂卡岩; 5—再结晶砂卡岩及热液蚀变砂卡岩; 6—矿石砂卡岩。V — 费德洛夫矿田: 1—沿碳酸盐岩石发育的砂卡岩; 2—沿铝硅酸盐岩石发育的砂卡岩; 3—再结晶砂卡岩及热液蚀变砂卡岩; 4—矿石砂卡岩; 5—金—硫化物—石英脉。

I — The “Central” orefield; 1—Andesite—basaltic porphyrite, tuffporphyrite; 2—Quartz diorite, diorite; 3—Granodiorite; 4—Granodiorite with beresitization; 5—Beresite; 6—gold—sulfide—quartz vein. II — The “Comsomol” orefield; 1—Granitic aplite, aplite; 2—Diabase and diabase—porphyrite; 3—Gabbro; 4—Gabbro with talc—magnesitization; 5—Talc—magnesite schist, beresite; 6—Gold—sulfide—quartz vein. III — The Bericule orefield; 1—Andesite—basaltic porphyrite, tuffporphyrite; 2—Andesite—diabase porphyrite with keratophyritization and granitization; 3—Beresite; 4—Gold—sulfide—quartz veins. IV — The Nataliev orefield; 1—Limestone and marbleized limestone outside orefield; 2—Marbleized limestone and marble in the orefield; 3—Skarn following carbonate; 4—Skarn following aluminium silicate; 5—Recrystallized skarn and altered skarn; 6—Ore skarn. V — Feodlov orefield; 1—Skarn following carbonate; 2—Skarn following aluminium silicate; 3—Recrystallized skarn and hydrothermal altered skarn; 4—Ore skarn; 5—Gold—sulfide—quartz veins.

在金—砂卡岩矿田, 碳酸盐岩石中 Cr、Ni、Co、Ti、Cu、Zn 的含量高出矿田范围之外同类岩石的 2.5—5.0 倍以上。此外, 矿田中还见有 Cu、Sn、Zr、Be 等元素, 这可作为区别含金与非含金砂卡岩之地球化学标志 (图 6)。

上述金矿床地球化学特点可作为普查新矿床、矿田及已知矿床深部和侧翼的普查评价标志。众所周知, 金矿床在应用岩心钻探过程中, 特别是在深部和侧翼, 由于矿体小、岩心采取率低或钻孔倾斜等原因, 经常漏掉矿体。同时, 由于矿石中缺失磁性矿物 (砂卡岩型矿石

除外)或硫化物含量少(一般1%—3%,很少达3%—8%),磁法测井或电法测井亦很少应用。此外,通过地球化学研究所确定的近矿围岩蚀变范围可能比肉眼所见之范围大2—5倍,因此,金矿田系统的地球化学定量分析,特别是普查和勘探岩心(钻孔地球化学或测井),对于普查和勘探矿体、矿田的定量分析十分重要,效果明显。

上述矿田(矿床)中,硫同位素组成研究结果表明, $\delta^{34}\text{S}$ 介于+0.1‰—+8.2‰之间(表2)的狭窄范围内,表明硫统一来源于深部,而且金矿床形成于相近的物理化学环境中。在金—矽卡岩建造类型矿床的硫化物中未进行或仅出现极弱的硫同位素分馏作用, $\delta^{34}\text{S}=+0.1\text{‰}—+3.0\text{‰}$,与地球硫或陨硫铁的组成相近(B·A·戈里年柯等,1974);在金—硫化物—石英建造类型矿床的硫化物中, $\delta^{34}\text{S}=+2.3\text{‰}—+8.2\text{‰}$,即比前者增长了2—3倍,从而表明,上述建造类型矿床形成的物理化学条件各异,但在时间上、空间上相近,而且距矿石—岩浆系成矿的侵入岩体不远。这些规律也可说明,此种类型矿床具有硫同位素分馏弱之特点。形成金—硫化物—石英建造类型矿床的矿石—岩浆系在空间、时间上延续相当长,从而决定了硫同位素分馏的特点,即矿田中硫化物具有富集重硫同位素之特点,由矿带根部向前缘,硫同位素“越来越重”,这一规律在“中央”矿田表现得最为明显,该矿床位于花岗闪长岩中,属均—脆性物理条件,对于形成剪切或张性构造裂隙十分有利。与之同时,花岗岩类本身为均一的物理化学介质,有利于成矿热液循序渐进的演化,从而最终导致形成在空间上、时间上延伸稳定的矿石—岩浆系。在“中央”矿田中主矿体(主干带)的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值介于+2.3‰—+4.5‰的狭窄范围内,即硫的同位素组成接近于陨硫铁;而边缘矿体(边缘带)的 $\delta^{34}\text{S}$ 则介于+2.0‰—+8.0‰之间(表2)。上述规律可指导评估矿床或个别矿体的剥蚀深度和远景预测等。

综上所述,结论如下:

A. 西伯利亚地台西南部金矿田(矿床)分布于成矿建造(如“中央”、费德洛夫矿床)或容矿建造(如“共青团”、别里库里、纳塔里也夫、费德洛夫等矿床)中,表明存在两种金矿化。含金矿石—岩浆系垂直延深达3km以上。

B. 虽然金矿田赋存于不同类型、不同时代的围岩——辉长岩、辉绿岩、闪长岩、花岗闪长岩、玄武玢岩、安山—玄武玢岩或镁质及钙质矽卡岩中,但这些矿田具有:a. 共同的矿物组成;b. 共同的近矿围岩蚀变;c. 相近的地球化学特征。从而表明含金热液的深成性质,因此,金矿化形成之物理化学条件也近似。这一结论也为金矿化过程中硫同位素组成的特点所证实。

C. 矿田中金的工业富集在成因上与早古生代深成花岗岩体密切相关。这一结论已被西伯利亚其它金矿床的地质—地球化学特点所证实(阿拉宾,1983;戈洛别依尼柯夫,1987)。

D. 在金矿田中一般可有两种矿化建造类型:a. 金—硫化物—石英;b. 金—矽卡岩。

E. 金矿田的地球化学和地质特点可作为:a. 金矿床的特征标志;b. 预测、普查、评价西伯利亚地台、华北地台新矿田、新矿床、新矿结、新矿带之依据。

F. 金矿田的系统定量地球化学特点研究可应用于:a. 确定矿体、矿田、矿带的地球化学专属性特征;b. 评价新矿体、新矿田、新矿带的实际工业意义;c. 对金矿床进行建造、地球化学和成因上的分类。

表 2 西伯利亚南部金矿田硫化物矿物的 $\delta^{34}\text{S}(\%)$
Table 2. $\delta^{34}\text{S}(\%)$ of sulfide of gold orefield in the southwest of Siberian

矿 物	金—硫化物—石英建造类型 (I)			金—砂卡岩建造类型 (II)		
	“中央”矿田		“共青团”矿田	别里库里矿田	纳塔里也夫矿田	费德洛夫矿田
	主 干 带	边 缘 带				
黄 铁 矿	$\frac{+3.5-+4.7}{+4.0 (9)}$	$\frac{+6.6-+7.6}{+7.0 (9)}$	$\frac{+7.0-+7.9}{+7.6 (3)}$	$\frac{+5.6-+6.6}{+6.2 (3)}$	$\frac{+1.1-+3.2}{+2.2 (3)}$	$\frac{+1.5-+1.6}{+1.5 (3)}$
黄 铜 矿	$\frac{+1.1-+4.9}{+3.9 (5)}$	$\frac{+6.9-+7.2}{+7.0 (2)}$			$\frac{+1.1-+1.5}{+1.3 (2)}$	$\frac{+0.9-+1.3}{+1.1 (2)}$
闪 锌 矿	$\frac{+2.3-+5.0}{+4.2 (3)}$	$\frac{+7.0-+7.7}{+7.5 (5)}$	+8.1	$\frac{+5.2-+7.1}{+6.2 (4)}$		+0.6
毒 砂	$\frac{+3.5-+5.6}{+4.5 (2)}$	$\frac{+7.6-+8.8}{+8.0 (5)}$		$\frac{+6.9-+9.2}{+8.2 (7)}$	$\frac{+1.7-+2.9}{+2.3 (2)}$	$\frac{+0.5-+1.6}{+1.0 (2)}$
方 铅 矿	$\frac{+2.4-+4.5}{+3.2 (6)}$	$\frac{+1.1-+2.9}{+2.0 (2)}$		$\frac{+3.0-+5.1}{+4.5 (7)}$		$\frac{+2.8-+3.0}{+2.9 (2)}$
辉 钼 矿	2.3					0.0—+0.1 (2)

注: 分子为 $\delta^{34}\text{S}$ 值的范围, 分母为平均值: () 中数字表示分析样品数

上述地质—地球化学研究的目的在于提高金矿床的普查、找矿、远景评价、勘探和预测效果。

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF GOLD DEPOSITS IN THE SOUTHWEST OF SIBERIAN PLATFORM

L. V. Alabin

(Associated Institute of Geology,

Geophysics and Mineralogy, Siberian Branch, Academy of Sciences of Russian)

Abstract

There are two kinds of gold—deposit formations within Caledonian foldsystem in the southwest of Siberian platform: a. Gold—sulfide—quartz formation; b. Gold—skarn formation. They are formed in geodynamic tectonic surroundings of ancient island arc, usually occurred in the zone of ophiolitic formation and related with proto—plutonic granitoid rocks in genesis. Associated elements of the ore, Cu, Pb and Zn, are 10—20 times as much as that of wall rocks. As, Sb, Mo, W, Bi and Te etc. may act as indicator for industrial orebody.

Key words the southwest of Siberian platform gold deposit geochemistry formation type plutonic granite