

文章编号:0258-7106(2005)06-0669-07

甘肃黑石山埃达克岩金矿床成矿模式初析^{*}付善明^{1,2},周永章^{1,2},郭原生³,杨志军^{1,2},付伟^{1,2}

(1 中山大学地球环境与地球资源研究中心,广东 广州 510275;2 中山大学地球科学系,广东 广州 510275;

3 兰州大学,甘肃 兰州 730000)

摘 要 甘肃黑石山埃达克岩属 O 型埃达克岩,其岩石类型为奥长花岗岩。岩体位于黑石山穹隆南缘,西湾—苏家湾断裂北部上盘。在该埃达克岩体中发育有金矿床,矿床类型为含金石英脉型及蚀变花岗岩型。研究认为该矿床的形成主要经历了 3 个阶段:Ⅰ. 次生洋板片俯冲并发生部分熔融形成埃达克质熔体;Ⅱ. 熔体与地幔楔橄榄岩及幔源熔体的相互作用(金属的萃取)使熔体富集成矿元素;Ⅲ. 熔体向上侵入成岩,后期构造运动及热液成矿作用使成矿元素活化迁移并最终富集成矿。

关键词 地质学;埃达克岩;成矿模式;金矿床;板块俯冲;甘肃黑石山

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

埃达克岩发现于阿留申群岛的埃达克岛,系一种中酸性的富 Na 岛弧火山岩(Kay, 1978)。Defant 等(1990)首先将其命名为埃达克岩。其岩石类型为中酸性钙碱性岩石,在化学成分上高 SiO₂ 和 Al₂O₃,低重稀土元素和 Y,高 Sr,高场强元素及 Ti、P 含量相对较低,具有正的 Eu、Sr 异常(Defant et al., 1990)。现在研究认为埃达克岩有 2 种形成方式,一种是由俯冲的大洋板片熔融形成(Defant et al., 1990;Peacock et al., 1994);另一种是由底侵的玄武质下地壳的熔融形成(Atheron et al., 1993;张旗等, 2001)。

甘肃黑石山地区的地质工作始于 20 世纪 50 年代,先后进行了地质填图和以寻找斑岩铜矿为目的的各种勘查钻探工作,均认为斑岩铜矿矿化微弱,不具工业意义。自 20 世纪 80 年代在花岗岩体中发现了自然金,才开始了以金为主的勘查工作,并进行开采至今。但这些工作均以寻找矿产为目的,并未对该区花岗岩体的埃达克岩属性及矿床的成矿模式进行深入研究。

最近郭原生等在黑石山早古生代火成岩的研究中认定该区有埃达克岩的存在,并对其属性及动力学意义作了详细的研究(待刊)。该区埃达克岩的岩

石类型主要为奥长花岗岩,属典型的大洋板片熔融型埃达克岩,即 O 型埃达克岩(付善明, 2004)。在该埃达克岩中发育有含金石英脉型和蚀变花岗岩型金矿床。本文将主要对这一埃达克岩金矿床的成矿模式作初步探析,以期对与由洋壳俯冲形成的 O 型埃达克岩相关矿产的寻找提供一些参考。

1 黑石山区域地质及埃达克岩金矿床

黑石山位于甘肃省白银厂矿区西南部,被认为是一个可与白银厂矿区进行对比的火山穹隆(高红卫, 1999)。金矿床位于白银—清水—昌马陆缘弧,黑石山穹隆南缘,区域性大断裂西湾—苏家湾断裂北部上盘,大地构造位置属北祁连加里东构造带东段南部(图 2)。其地理位置为:东经 104°10′22″、北纬 36°34′43″。西湾—苏家湾断裂为压扭性断裂,该断裂及其次生断裂控制了本区火山岩、侵入岩的分布和产状。该区地层除南部、东南部出露下白垩统、上三叠统碎屑岩外,其余大部分为中寒武统火山岩及少量前志留纪浅变质岩。受西湾—苏家湾断裂的影响,该区的断裂构造极其发育,对岩浆活动和矿化具有明显的控制作用(张照志, 1999;2002)。

^{*} 本文得到国家科技部 973 项目(2002CB412600)和国家教育部博士点基金(20040558050)的资助

第一作者简介:付善明,男,1977 年生,博士生,主要从事岩石与矿床地球化学研究。

收稿日期 2005-03-14;改回日期 2005-05-25。李岩编辑。

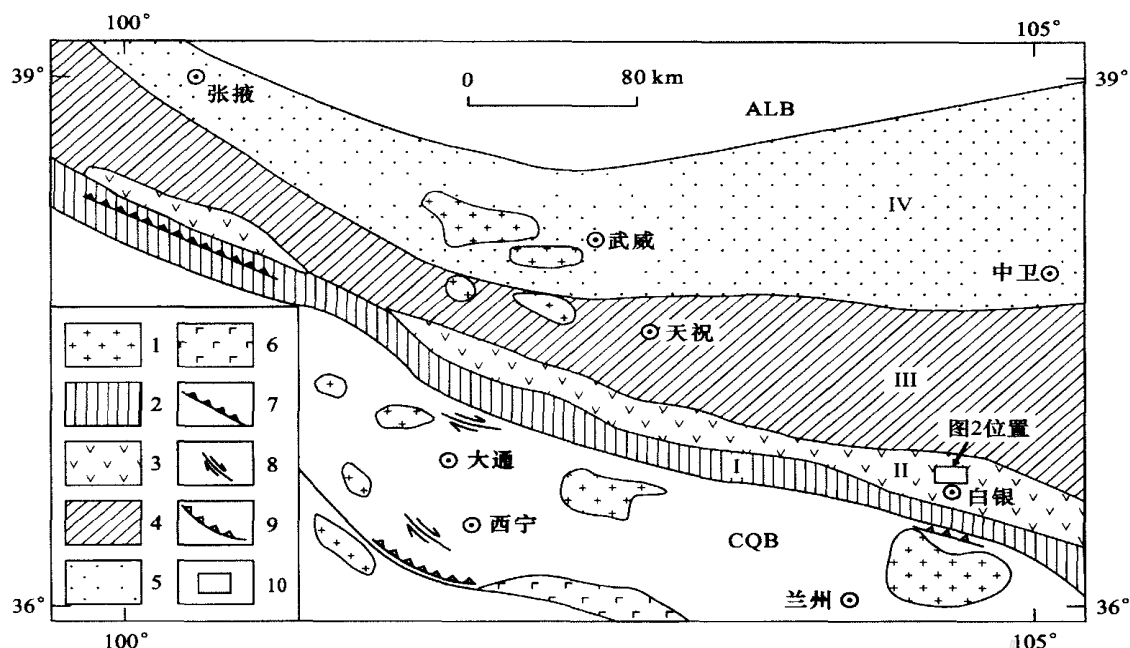


图1 北祁连大地构造简图(据许志琴,1997)

1—加里东期花岗岩;2—俯冲增生杂岩;3—弧火山岩;4—弧后杂岩;5—古被动大陆边缘建造;6—裂谷火山岩;7—逆冲型韧性剪切带;8—平移型韧性剪切带;9—伸展型韧性剪切带;10—本文研究区。ALB—阿拉善地块;CQB—中祁连地块;I—北祁连俯冲增生杂岩带;II—古火山弧;III—弧后盆地;IV—古大陆架和大陆坡

Fig.1 Geotectonic map of Northern Qilian (modified from Xu,1997)

1—Caledonian granite; 2—Subducted complex rock; 3—Volcanic arc rock; 4—Back-arc complex rock; 5—Palaeocontinental passive margin construction; 6—Rift volcanic rock; 7—Reverse thrusting ductile shear zone; 8—Transitional ductile shear zone; 9—Stentering ductile shear zone; 10—Study region. ALB—Alashan block; CQB—Central Qilian block; I—Northern Qilian subducted complex rock; II—Plaeovolcanic arc; III—Back arc basin; IV—Passive palaeocontinental shelf and slope

金矿床主要产于I、II及III号奥长花岗岩体(埃达克岩体)中(图2),矿床类型为含金石英脉型和蚀变花岗岩型。矿体岩石类型主要为奥长花岗岩,具有如下的地球化学特征: $w(\text{SiO}_2) = 69.32\% \sim 72.38\%$; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 平均为 15.17% ; $w(\text{MgO}) = 0.77\% \sim 1.24\%$; $w(\text{Na}_2\text{O}) = 4.17\% \sim 4.50\%$; $w(\text{K}_2\text{O}) = 1.70\% \sim 2.16\%$; 低 Yb 和 Y ($w_{\text{Yb}} 0.39 \times 10^{-6} \sim 0.58 \times 10^{-6}$; $w_{\text{Y}} 4.45 \times 10^{-6} \sim 6.69 \times 10^{-6}$); 高 Sr ($w_{\text{Sr}} 438 \times 10^{-6} \sim 540 \times 10^{-6}$), 具轻微的正 Eu 异常。金在矿床中以自然金为主,其次为银金矿、碲金矿等。经勘查金总储量为 703.354 kg , 平均品位 6.237 g/t , 伴生银 3291.212 kg (白银公司地质队,1987)。在矿体中,金的品位由地表向深部逐渐升高,最高可达 18 g/t 。自然金主要嵌布在金属硫化物晶界间或矿物裂隙中,部分自然金与方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等共生,有时呈集合体状产出。金矿化和石英脉关系密切,凡充填有石英脉者,金的品位

就高。同时方铅矿和黄铁矿等硫化物与金矿化的关系密切,黄铁矿呈细粒状和粉末状时具有较好的金矿化。

2 黑石山埃达克岩金矿成矿模式

近年来的研究发现,许多大型 Au 、 Ag 、 Cu 、 Mo 等低温热液矿床和斑岩矿床都与埃达克岩或埃达克质岩(adakitic rock)有着密切的关系(Defant et al., 2002; Thieblemont et al., 1997; Oyarzun et al., 2001; Bellon et al., 2001)。据统计(Thieblemont et al., 1997),全球43个 Au 、 Ag 、 Cu 、 Mo 低温热液和斑岩矿床中有38个与埃达克岩有关。Bellon等(2001)调查了菲律宾16个斑岩铜矿,发现其中14个在时间和空间上与埃达克岩有关。埃达克岩可以作为找矿标志来使用(Defant et al., 2002),因而对埃达克岩矿床及其成矿作用模式的研究越来越受到关注。

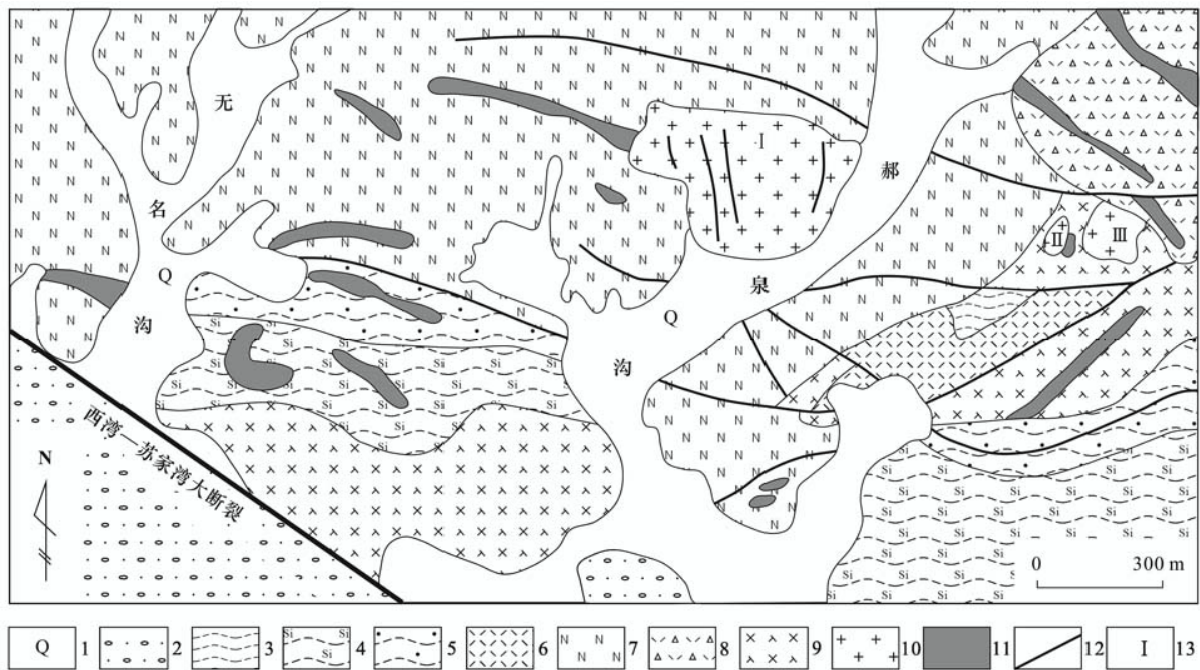


图 2 黑石山区域地质简图(据王光宁,1999)

1—第四系黄土坡积物;2—上三叠统砂砾岩;3—志留系千枚岩;4—志留系硅质千枚岩;5—志留系变质砂岩;6—中寒武统流纹岩;7—中寒武统钠长斑岩;8—中寒武统含砾流纹岩;9—中寒武统辉长玢岩;10—奥长花岗岩(埃达克岩);11—花岗斑岩;12—断层;13—含矿岩体编号

Fig.2 Regional geological map of Heishishan(modified from Wang Guangning,1999)

1—Quaternary loess;2—Upper Triassic glutenite;3—Silurian phyllite;4—Silurian silicified phyllite;5—Silurian metasandstone;6—Middle Cambrian rhyolite;7—Middle Cambrian albitophyre;8—Middle Cambrian debris-bearing rhyolite;9—Middle Cambrian gabbro porphyrite;10—Trondje mite(adakite);11—Granite porphyry;12—Fault;13—Ore body's serial number

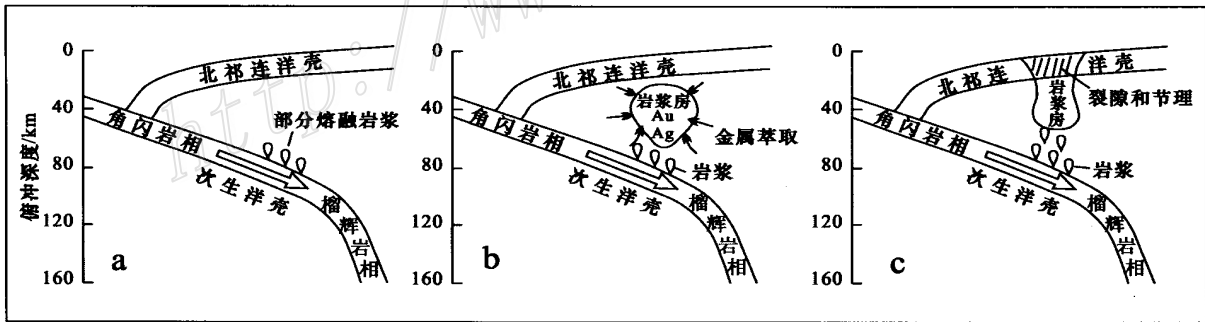


图 3 黑石山埃达克岩成矿模式图

a. 次生洋板俯冲发生部分熔融,形成埃达克质熔体;b. 熔体与地幔楔橄榄岩相互作用,从地幔中获取大量的成矿元素;c. 熔体向上侵入冷凝过程中形成具有控矿作用的裂隙和节理,后期构造运动及热液成矿作用使成矿元素活化迁移并最终富集成矿

Fig.3 Metallogenic model of the Heishishan adakitic gold deposit

a. Adakitic melt was formed by melting of subducting secondary oceanic slab;b. The melt extracted a mass of metal elements of gold and silver during its reaction with mantle peridotite when it migrated upward to the mantle wedge;c. Many mineralization-controlling cracks and joints were formed during the uplifting and cooling of the melt ,and late tectonic movement and hydrothermal ore-forming process activated gold element and resulted in mineralization

通过对黑石山地区区域地质、岩浆作用以及埃达克岩和金矿床的研究,可以认为黑石山埃达克岩金矿床的形成主要经历了 3 个阶段(图 3):

第一阶段:埃达克质熔体形成阶段(图 3a)
王荃等(1976)、李春昱等(1978)认为古生代或更早时期的祁连山就存在古海洋——祁连洋。加里

东期是北祁连构造格局的重要变革时期,该时期内,区内洋陆作用、火山岩浆作用、壳-幔相互作用、热流体作用及与之有关的各种成矿作用达到鼎盛。此时柴达木古陆和华北古陆均处于祁连洋的俯冲之下(汤中立,2002)。北祁连洋在向北俯冲的同时,可能存在洋内俯冲作用,其上的大洋板块由于弧后拉张作用形成次生洋-弧后盆地。当北祁连次生洋扩张到一定程度后次生洋板片将向北俯冲(郭原生等,2000;王金荣等,2003),进入高温高压环境,发生部分熔融而形成黑石山埃达克岩熔体。

实验研究(Kay,1978;Kay et al.,2001)表明,埃达克岩的形成需要很高的温度(850~1150℃)和压力(1.0~4.0 GPa)。高温可使玄武质岩石发生熔融形成埃达克质岩浆,而高温和高压还有利于 Au、Ag、Cu、Mo 等金属元素溶解进入熔体。

洋壳俯冲至一定深度(75~85 km),其玄武质板片就会发生变质作用,岩石由角闪岩相向榴辉岩相转变,而角闪石消失时将释放出大量的水(Defant et al.,1990)。这些流体的加入将有利于熔体的形成,同时对金属元素的萃取、富集和矿床的形成都非常有利(Kay,1978;Kay et al.,2001)。

与正常的长英质岩浆不同,埃达克质岩浆形成时就具有高水含量、高氧逸度和富硫的特征(Oyarzun et al.,2001),并成为金属的可能载体。熔体的富水性质导致岩浆系统高度氧化(Imai et al.,1993)。因而,在高温、高压、富水、高氧逸度状态下,S 主要以 S^{6+} 存在,即容易导致硫化物在岩浆中不饱和(赵振华等,2002;Mungall,2002)。在氧化状态下,硫化物不饱和的岩浆的结晶分异作用使 Au 等成矿元素成为不相容元素而在熔浆中得到富集(Mungall,2002)。

俯冲板片熔融成因的埃达克岩常与 Au、Ag、Cu、Mo 等热液及斑岩矿床密切共生,其成矿物质来源于埃达克质岩浆(Martin,1999)。在斑岩铜矿的成矿模型中,Silitone(1972)就曾提出洋壳的重熔模式。他认为大部分成矿金属是洋壳俯冲到地幔时,发生部分熔融而从洋壳中浸出的,在部分熔融过程中,浸出的金属作为钙碱性岩浆的一部分而上升,并最终成岩成矿。

在黑石山地区,埃达克岩在次生洋板片俯冲并发生部分熔融的过程中,这些作用使埃达克质熔体在形成时就可能富集了一定程度的金属含量。

第二阶段:熔体与地幔楔的相互作用阶段(图

3b)

这一阶段主要表现为埃达克质熔体与热的地幔楔橄榄岩的相互反应或与幔源熔体的混合作用。由祁连次生洋壳板片熔融形成的黑石山埃达克质熔体,在上升过程中,必然会与热的地幔楔形区橄榄岩发生相互反应(Kay,1978)或与幔源熔体发生混合(Defant et al.,1990)。这个过程通常被认为是一种最常见的机制并已得到证实(Stern et al.,1996;Rapp et al.,1999),其可能是埃达克岩熔体富含金属和硫的重要途径。

由于地幔和基性岩中 Au、Ag、Cu、Mo 等元素的丰度值高,埃达克质熔体与其反应过程中,可以获取大量的金属和硫(Defant et al.,2001;Thieblemont et al.,1997;Sajona et al.,1998;Kay et al.,2001;Martin,1999)。当 S 达到饱和时,可改变熔体的氧化还原状态,使 Au 等元素进入硫化物沉淀而成矿。埃达克质熔体与幔源熔体发生混合,将从后者中获取大量的金属元素以及硫(Defant et al.,1990;侯增谦等,2003)。

埃达克质熔体与橄榄岩相互反应,也将大幅度提高埃达克质熔体的 $Mg^{\#}$ 值和 Fe 含量,从而增大硫在熔体中的溶解度。这一特征在黑石山埃达克岩的形成过程中也得到了表现(付善明,2004)。这就证明了黑石山埃达克质熔体在向上运移的过程中与地幔楔橄榄岩或幔源熔体发生相互作用,能够获取大量的成矿金属元素,并为其后矿床的形成提供必需的物质基础。

第三阶段:成岩成矿作用阶段(图 3c)

富含金属的埃达克质熔体向上侵入并增生到白银—清水—昌马陆缘弧,同时,不断地发生冷凝、收缩,形成了大量的裂隙和节理(图 4)。受西湾—苏家湾区域性大断裂的影响,该区的次级断裂构造相当发育,这些断裂构造控制了该区火山岩和侵入岩体的分布,同时为岩浆活动和含矿热液的运移提供了通道。在成矿作用过程中,断裂具有控矿和容矿的作用,裂隙和节理具有配矿的作用,它们的形成对后期 Au、Ag 和金属硫化物的矿化具有重要的意义(张照志,1999;2002)。

后期 NEE 向张引力作用使得先前形成的相对紧闭的裂隙系统变为有利于成矿的开放系统,含矿热液在开放体系内沿节理和裂隙运移的过程中,或是充填或是与奥长花岗岩发生交代作用。交代作用过程中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 减少, CaO 、 K_2O 、 CO_2 明显

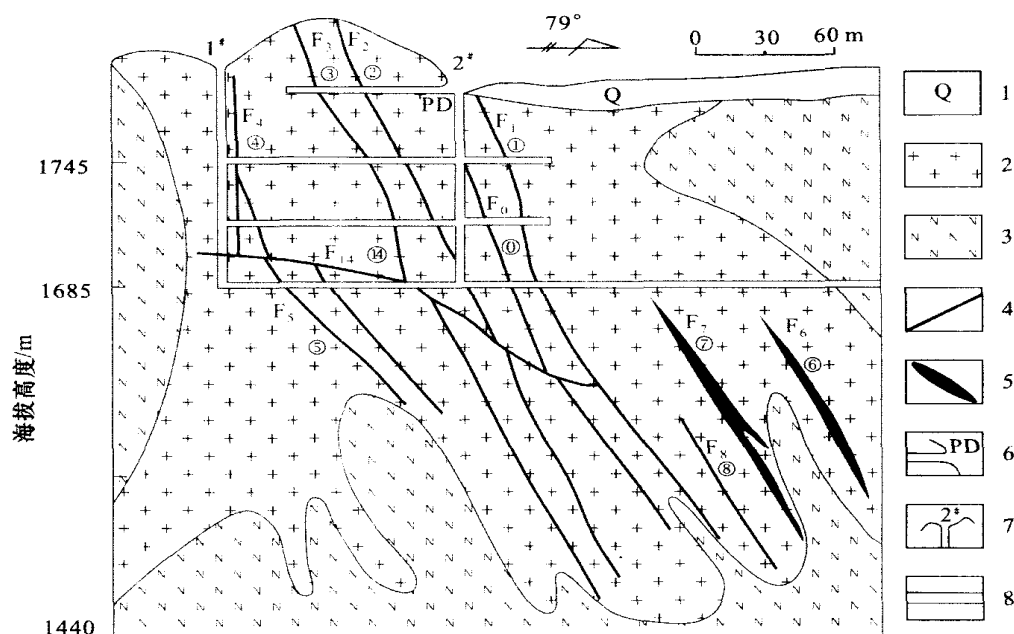


图4 I号埃达克岩体剖面控矿断裂与矿体形态图(据张照志,1999)

1—第四系黄土坡积物;2—奥长花岗岩;3—中寒武统钠长斑岩;4—控矿断裂;5—矿体及编号;6—平洞;7—竖井;8—平巷

Fig.4 Ore-controlling fractures and ore body shapes along No. I adakite section

1—Quaternary loess;2—Trondjemite;3—Middle Cambrian albitophyre;4—Ore-controlling fracture;5—Ore body and its serial number;
6—Adit;7—Shaft;8—Gallery

增加(张照志,1999)。这一过程有利于成矿元素Au、Ag等从母岩中淋滤出来,并在蚀变岩中得到富集。

金矿体主要产于岩体内的断裂中,表明经历了二次应力的作用,成岩与成矿具有一定的时差。含金石英脉形成后,经历了一次较大的构造运动而变得极其破碎,因此,促进了金的活化、运移和富集。矿石矿物黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等多为中低温矿物,且同位素及包裹体测试也表明,黑石山金矿床中Au等金属元素来源于埃达克岩体,成矿流体温度为 $240 \sim 270^{\circ}\text{C}$,盐度为 $8.2\% \sim 10.5\%$,成矿压力为 $(2.32 \sim 2.84) \times 10^7 \text{ Pa}$,成矿深度为 $0.775 \sim 0.947 \text{ km}$,成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值落于大气水范围内(王光宁,1999),具浅成中温成矿特征。这充分说明埃达克岩体形成以后,经历了后期的构造运动,加热的大气水溶液在浅成中温条件下,对岩体改造而形成了黑石山埃达克岩型金矿床。

3 结论

黑石山埃达克岩体内金矿床的形成经历了一个完整的地质地球化学过程:①洋内俯冲作用使次生

洋板片俯冲到北祁连洋板片之下,并发生部分熔融形成黑石山埃达克质熔体;②熔体在上升运移的过程中,与热的地幔楔橄榄岩或幔源熔体发生相互反应,从地幔中获取了大量的Au、Ag等成矿金属元素;③富含金属的埃达克质岩浆在上升过程中冷凝收缩形成了具有控矿作用的节理和裂隙并最终增生到白银—清水—昌马陆缘弧,后期多期次、多阶段的构造运动及低温热液活动(成矿作用)使得成矿元素Au、Ag等得到活化迁移并最终富集成矿。

对该类型埃达克岩矿床成矿模式的深入研究,对开拓在广泛出露埃达克岩的青藏高原和中国东部地区找矿工作的新思路具有潜在的经济价值和一定的参考意义。

致谢 在野外工作中,甘肃省白银公司地质队给予了大力支持和协助,并提供了宝贵资料,特表谢忱。文中不当之处望读者指正。

References

- Atheron M P and Peford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. Nature, 362: 144~146.
- Bellon H and Yumul Jr G P. 2001. Miocene to Quaternary adakites and

- related rocks in western Philippine arc sequences [J]. *Earth & Planet. Sci.*, 333 : 343 ~ 350 .
- Defant M J and Drummond M S. 1990 . Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 347 : 662 ~ 665 .
- Defant M J and Kepezhinskas P. 2001 . Evidence suggests slab melting in arc magmas [J]. *EOS*, 82 (6) : 67 ~ 69 .
- Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, et al. 2002 . Adakite: Some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18 : 129 ~ 142 .
- Fu S M. 2004 . Study on the early Paleozoic adakite from Heishishan in Gansu and its dynamics [Dissertation for Master degree] [D]. Tutor: Guo Y S. Lanzhou: Lanzhou University. 65p (in Chinese) .
- Gao H W. 1999 . Mineralization conditions and petrochemistry and geochemistry in northern Heishishan [J]. *Gansu Nonferrous Metal*, (1-2) : 41 ~ 48 (in Chinese with English abstract) .
- Geology Team of Baiyin Nonferrous Metal Company. 1987 . Report on geological evaluation of Haoquangou gold deposit [R] (in Chinese) .
- Guo Y S, Wang J R, Xie X L, et al. 2000 . Geochemical characteristics and genetic analysis of the early and middle Cambrian volcanic rocks in Baiyin mining field [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16 (3) : 337 ~ 344 (in Chinese with English abstract) .
- Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, et al. 2003 . Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in northern Chile [J]. *Mineral Deposits*, 22 (1) : 1 ~ 12 (in Chinese with English abstract) .
- Imai A, Listanco E L and Fujii T. 1993 . Petrologic and sulfur isotopic significance of highly oxidized and sulfur-rich magma of Mount Pinatubo, Philippines [J]. *Geol.*, 21 : 699 ~ 702 .
- Kay R W. 1978 . Aleutian magnesian andesites: Melts from subducted Pacific Ocean crust [J]. *Volcano Geotherm Res.*, 4 : 117 ~ 132 .
- Kay S M and Mpodozis C. 2001 . Central Andean ore deposits linker to evolving shallow subduction systems and thickening crust [J]. *GSA Today*, 4 ~ 9 .
- Li C Y, Liu Y W, Zhu B Q, et al. 1978 . Tectonic phylogeny of Qinling and Qilian mountains [A]. In: International academic exchanges geological papers collection [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 174 ~ 184 (in Chinese with English abstract) .
- Martin H. 1999 . Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids [J]. *Lithos.*, 46 : 411 ~ 429 .
- Mungall J E. 2002 . Roasting the mantle: Slab melting and genesis of major Au and Au-rich Cu deposits [J]. *Geol.*, 30 (10) : 915 ~ 918 .
- Oyarzun R, Morquez A, Lillo J, et al. 2001 . Giant versus small porphyry copper deposit of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism [J]. *Mineralium Deposita*, 36 : 794 ~ 798 .
- Peacock S M, Rushmer T and Thompson A B. 1994 . Partial melting of subducting oceanic crust [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121 : 227 ~ 244 .
- Rapp P R, Shimizu N and Norman M D. 1999 . Applegate, reaction between slab-derived melt and peridotite in the mantle constrains at 3.8 GPa [J]. *Chem. Geol.*, 160 : 335 ~ 356 .
- Sajona F G and Maury R C. 1998 . Association of adakite with gold and copper mineralization in the Philippines [J]. *Earth & Planet. Sci.*, 326 (1) : 27 ~ 34 .
- Silitone R H. 1972 . A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits [J]. *Econ. Geol.*, 67 : 184 ~ 197 .
- Stern C R and Killian R. 1996 . Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakite from the Andean Austral volcanic zone [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123 : 263 ~ 281 .
- Tang Z L. 2002 . Metallogenetic system and geodynamics of southwest margin (Longshou mountain-Qilian mountain) of north China craton [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 144 ~ 170 (in Chinese) .
- Thieblemont D, Stein G and Lescuyer J L. 1997 . Gise ments épithe maux et porphyriques: La connexion adakite [J]. *Earth & Planet. Sci.*, 325 : 103 ~ 109 .
- Wang G N. 1999 . Geological characteristics and ore contents to intrusive rocks from eastern Heishishan in Baiyin [J]. *Northwestern Geol.*, 32 (1) : 5 ~ 10 (in Chinese with English abstract) .
- Wang J R, Guo Y S, Zhai X W, et al. 2003 . Tectonic setting for formation of the early-middle Cambrian volcanic rocks from Baiyin Mining Field, Gansu Province [J]. *Geol. J. China Univ.*, 9 (1) : 89 ~ 98 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Q and Liu X Y. 1976 . Ancient oceanic crust and its geotectonic features of Qilian mountain area from western China [J]. *Chinese J. Geol.*, (1) : 1 ~ 28 (in Chinese with English abstract) .
- Xu Z Q, Zhang J X and Xu H F. 1997 . Ductile shear zone of continent and mountain chains and their dynamics in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese) .
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, et al. 2001 . The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (2) : 236 ~ 244 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z Z. 1999 . Ore-controlling structure and mineralization mechanism of Haoquangou gold deposit [J]. *Acta Geologica Gansu*, 8 (Supp.) : 75 ~ 78 (in Chinese) .
- Zhang Z Z and Wang Z Y. 2002 . Study on ore-controlling structure of Haoquangou gold deposit in Baiyin, Gansu [J]. *Gold Geol.*, 8 (1) : 6 ~ 10 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Z H, Xiong X L, Wang Q, et al. 2002 . Alkaline-rich igneous rocks and mineralization of correlative large and superlarge gold-copper deposits in China [J]. *Sci. in China (D)*, 32 (Supp.) : 1 ~ 10 (in Chinese) .

附中文参考文献

- 白银公司地质队. 1987 . 郝泉沟金矿床地质评价报告 [R].
- 付善明. 2004 . 甘肃黑石山早古生代埃达克岩及其动力学研究 [硕士学位论文] [D]. 导师: 郭原生. 兰州: 兰州大学. 65 页.
- 高红卫. 1999 . 从岩石化学和地球化学特征看黑石山北部成矿条件 [J]. *甘肃有色金属*, (1 ~ 2) : 41 ~ 48 .
- 郭原生, 王金荣, 谢宪丽, 等. 2000 . 白银厂矿田早中寒武世火山岩

- 地球化学及成因分析[J]. 岩石学报, 16(3): 337~344.
- 候增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质, 22(1): 1~12.
- 李春昱, 刘仰文, 朱宝清, 等. 1978. 秦岭及祁连山构造发展史[A]. 见: 国际交流地质学术论文集[C]. 北京: 地质出版社. 174~184.
- 汤中立. 2002. 华北古陆西南缘(龙首山-祁连山)成矿系统及成矿构造动力学[M]. 北京: 地质出版社. 144~170.
- 王光宁. 1999. 白银郝泉沟金矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃地质学报, 8(增刊): 70~74.
- 王光宁. 1999. 白银黑石山东部侵入岩体特征及其含矿性[J]. 西北地质, 32(1): 5~10.
- 王金荣, 郭原生, 翟新伟, 等. 2003. 甘肃白银厂矿田早-中寒武世火山岩形成的构造环境[J]. 高校地质学报, 9(1): 89~98.
- 王荃, 刘雪亚. 1976. 我国西部祁连山区的古海洋地壳及其大地构造意义[J]. 地质科学, (1): 1~28.
- 许志琴, 张建新, 徐慧芬. 1997. 中国主要大陆山链韧性剪切及动力学[M]. 北京: 地质出版社.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 17(2): 236~244.
- 张照志. 1999. 郝泉沟金矿控矿构造特征及成矿机制[J]. 甘肃地质学报, 8(增刊): 75~78.
- 张照志, 王志远. 2002. 甘肃白银郝泉沟金矿控矿构造研究[J]. 黄金地质, 8(1): 6~10.
- 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 2002. 我国富碱火成岩及有关的大型-超大型金铜矿床成矿作用[J]. 中国科学(D), 32(增刊): 1~10.

Metallogenic model of Heishishan adakite gold deposit in Gansu Province

FU Shan-ming^{1,2}, ZHOU Yong-zhang^{1,2}, GUO Yuan-sheng³, YANG Zhi-jun^{1,2} and FU Wei^{1,2}

(1 Center for Earth Environment and Resources, Zhongshan University, Guangzhou 510275, Guangdong, China;

2 Department of Earth Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, Guangdong, China;

3 Lanzhou University, Lanzhou 73000, Gansu, China)

Abstract

The adakite in Heishishan of Gansu Province is of O-type composed of trondhjemite. A gold deposit occurs in adakite body lying on the southern margin of Heishishan dome and the northern hanging wall of Xiwan-Sujiawan fault. The deposit is of the auriferous quartz vein and altered granite type. Studies show that the metallogenic model of the gold deposit can be divided into three phases: I. Adakitic melt was formed by melting of the subducting secondary oceanic slab; II. The melt extracted a mass of metallic elements gold and silver during its reaction with mantle peridotite when it migrated upward to the mantle wedge; III. The adakite rock was formed during the uplifting and cooling of the melt, and late tectonic movement and hydrothermal ore-forming process activated gold element and caused mineralization. A study of this model of O-type adakite formed by the melting of subducting oceanic slab is of great significance in the exploration of ore deposits related to O-type adakite.

Key words: geology, adakite, metallogenic model, gold deposit, plate subduction, Heishishan in Gansu Province