

蒙古国西部阿尔泰地区苍希格钨矿床地质特征及成因探讨

石传军,张 帅,范 羽,孟祥熙,安星宇,刘亚朋,王怀坤

蒙古正元有限责任公司,山东 济南 250101

摘 要: 苍希格钨矿床位于蒙古国西部阿尔泰钨-钼-铜-铅-锌-银多金属成矿带内。矿体围岩为中—上奥陶统巴赫留克组火山沉积岩及早泥盆世陶伊陶古什杂岩体,矿体呈脉状、似脉状、透镜状产出。围岩蚀变主要有硅化、云英岩化、萤石化、钠长石化、绿泥石化和碳酸盐化,其中硅化、云英岩化及萤石化与钨矿化关系密切。金属矿物主要为黑钨矿、白钨矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉铋矿、闪锌矿,矿物组合在水平和垂向上均具有一定的分带。初步分析认为,苍希格钨矿床为与海西期中酸性岩浆侵入有关的中高温热液石英脉型钨矿床。

关键词: 地质特征;矿床成因;苍希格钨矿床;阿尔泰成矿带;蒙古

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE TSUNKHEG TUNGSTEN DEPOSIT IN ALTAY AREA OF WESTERN MONGOLIA

SHI Chuan-jun, ZHANG Shuai, FAN Yu, MENG Xiang-xi, AN Xing-yu, LIU Ya-peng, WANG Huai-kun

Mongolia Zhengyuan Co., Ltd., Jinan 250101, China

Abstract: The Tsunkheg tungsten deposit is located in the Altay W-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag polymetallic metallogenic belt of western Mongolia. The wall rock of orebody is the volcanic sedimentary rock of Middle-Upper Ordovician Bakhriuk Formation and Early Devonian Taitaogushi complex, with the orebody occurred as vein, vein-like and lenticular forms. The wall rock alterations mainly include silicification, greisenization, fluoritization, albitization, chloritization and carbonatization, among which the former three are closely related to tungsten mineralization. The metallic minerals are mainly wolframite, scheelite, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, molybdenite, bismuthinite and sphalerite, and the mineral assemblages have a certain zonation both horizontally and vertically. It is concluded from the preliminary analysis that the Tsunkheg tungsten deposit is of meso-hydrothermal quartz vein type, which is related to the intrusion of Hercynian acid-intermediate magma.

Key words: geological characteristics; genesis; Tsunkheg tungsten deposit; Altay metallogenic belt; Mongolia

0 引言

蒙古西部阿尔泰钨-钼-铜-铅-锌-银多金属成矿带是钨矿床高度发育区^[1],矿床成因类型主要为石英脉型和云英岩化花岗岩型^[2],古生代是其重要成矿期^[3]。苍希格钨矿床位于该成矿带北段^[4],与周边乌

兰乌拉钨矿床(WO_3 :3100 t)、布拉特钼矿床(Mo:2000 t)等组成克孜勒套矿田^[5]。本文重点阐述苍希格钨矿床地质特征及矿床成因,并建立成矿模型,以为蒙古西北部阿尔泰成矿带的勘查找矿工作提供参考。

收稿日期:2020-02-25;修回日期:2020-03-08。编辑:李兰英。

作者简介:石传军(1988—),男,工程师,主要从事固体矿产勘查找矿工作,通信地址 山东省济南市高新区颖秀路 3366 号,E-mail//616197097@qq.com

1 区域地质概况

苍希格钨矿床在大地构造位置上属德隆-尤斯蒂

德构造带,西部与阿尔泰构造带相接,东部与阿奇特湖构造带毗邻(图 1). 区域内出露地层主要为中—上奥

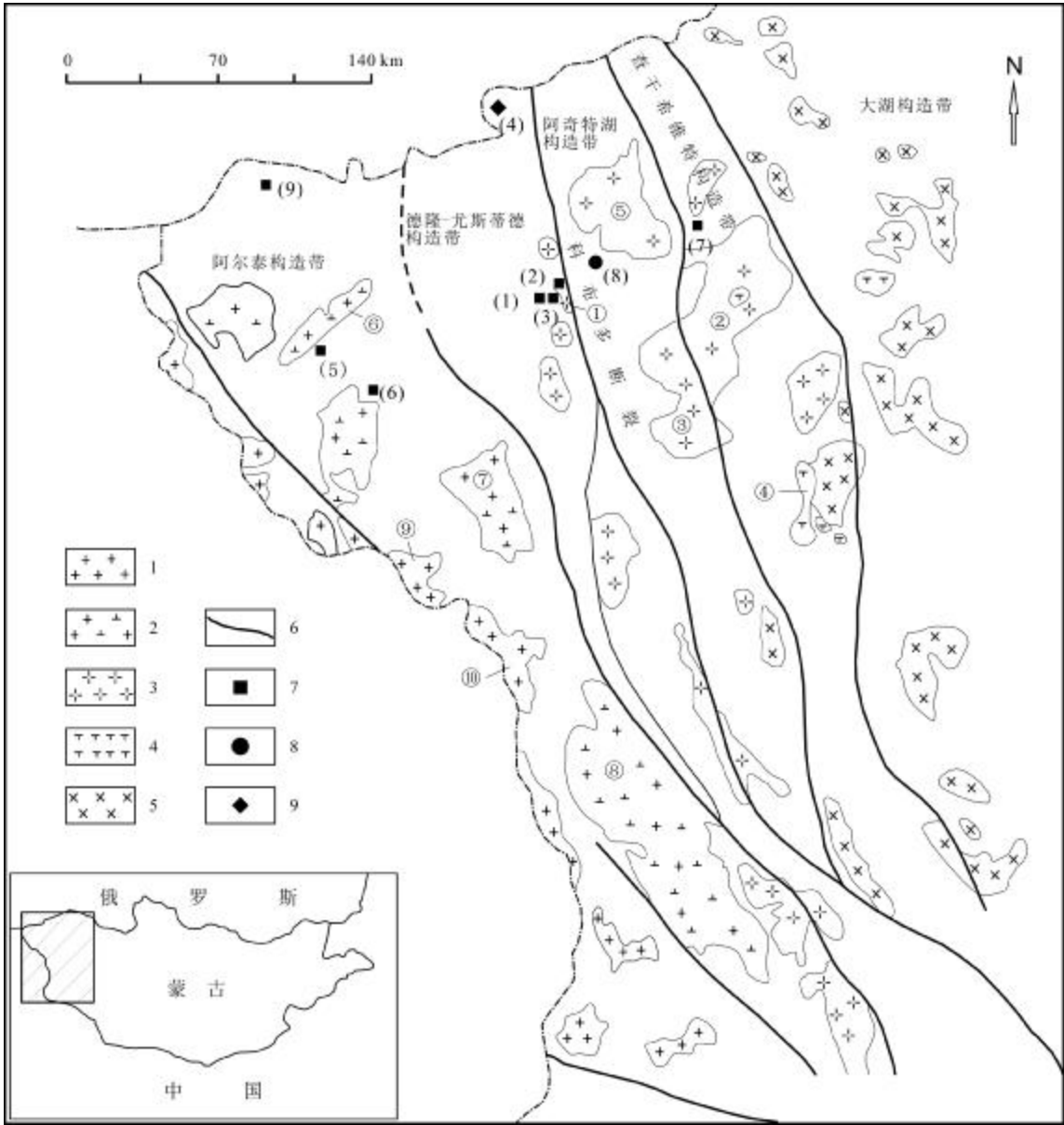


图 1 蒙古阿尔泰地区大地构造及主要矿床分布简图

(据文献[6]修改)

Fig. 1 Geotectonic sketch map with distribution of significant deposits in Altay area, Mongolia

(Modified from Reference [6])

1—中生代黑云母花岗岩(Mesozoic biotite granite); 2—加里东期花岗闪长岩、闪长岩(Caledonian granodiorite and diorite); 3—海西期黑云母花岗岩(Hercynian biotite granite); 4—碱性侵入岩(alkaline intrusive rock); 5—辉长-斜长花岗岩建造(gabbro-plagiogranite formation); 6—主构造界限(boundary of main structure); 7—钨矿床(W deposit); 8—铅锌矿床(Pb-Zn deposit); 9—银矿床(Ag deposit); ①~⑩—岩体(rock mass):①乌兰乌拉(Ulaan Ul), ②哈尔基林(Kharkhirin), ③巴彦湖(Bayan nuur), ④哈尔赞布雷特(Khaldzan Buregte), ⑤阿奇特湖(Achit nuur), ⑥查干高勒(Tsagaan gol), ⑦陶勒宝湖(Tolbo nuur), ⑧东布尔干(East Bulgan), ⑨萨格赛(Sagsai), ⑩齐格泰吉(Chigertaij); (1)~(8)—矿床(deposits): (1)苍希格钨矿(Tsunkheg W deposit), (2)乌兰乌拉钨矿(Ulaan Ul W deposit), (3)布拉特钨钼矿(Buraat uul W-Mo deposit), (4)阿斯嘎特银矿(Asgat Ag deposit), (5)科布多河钨矿(Khovd gol W deposit), (6)哈勒嘎特钨矿(Khaalgat W deposit), (7)阿奇特钨矿(Achit nuur W deposit), (8)多兰哈达铅锌矿(Dulaan khar uul Pb-Zn deposit)

陶统巴赫留克组和下志留统穆哈组, 其中巴赫留克组为一套陆源火山碎屑沉积, 岩性主要有砂岩、凝灰质砂岩、粉砂岩, 安山岩、玄武岩及其凝灰岩、凝灰角砾岩。区域内构造发育, 东侧紧邻科布多深大断裂, 该断裂为一右行走滑断裂, 走向延长大于 500 km, 宽达 10 km^[7]。区域内岩浆活动强烈, 主要发育晚泥盆—早石炭世乌兰乌拉杂岩体及早泥盆世陶伊陶古什杂岩体, 其中乌兰乌拉杂岩体岩性为浅色中粒二长花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩、花岗斑岩及花岗细晶岩脉等; 陶伊陶古什杂岩体岩性为辉长岩、闪长岩等。

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区内出露地层主要为中—上奥陶统巴赫留克组 ($O_{2-3}bh$), 岩性主要为粉砂岩、凝灰质粉砂岩、安山凝灰岩、灰绿色玄武凝灰岩、砂质凝灰岩、粉砂质凝灰岩、凝灰角砾岩及少量角岩。岩性组合分布具有明显分带性, 西侧为凝灰岩、安山—玄武质凝灰岩、凝灰角砾岩, 中间少量角岩, 东侧为粉砂岩 (图 2)。

2.2 构造

矿区构造发育, 以 NE 向断裂构造为主。规模长数十米至百米, 宽 1 m 左右, 倾向 NW, 产状较陡, 多在 80° 以上, 局部反转, 倾向 SE, 后期多被石英脉、云英岩脉充填, 是矿区的控矿、容矿构造, 向北部隐伏于地层之下。

另外, 沿主断裂方向裂隙及节理发育, 热液沿裂隙、节理上侵, 形成网脉状、脉状、浸染状蚀变及矿化。

2.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩发育, 主要为早泥盆世陶伊陶古什杂岩体 ($v\delta D_1t$) (图 2), 岩性为辉长岩、闪长岩等, 北东向条带状展布, 以岩脉、岩墙形态产出, 侵入于巴赫留克组火山沉积岩中。此外, 矿区广泛发育石英脉和伟晶岩脉。

2.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变强烈, 主要表现为硅化、云英岩化、萤石化、钠长石化、绿泥石化和碳酸盐化, 随着深度增加, 硅化、云英岩化等存在逐渐增强的趋势。

硅化是矿区内分布最广泛的蚀变类型, 表现为石英细脉和次生石英岩化两类, 其中, 石英细脉系围岩受热液交代作用析出的 SiO_2 沿构造裂隙系统充填形成, 与矿化关系密切 (图 3a、b、c)。

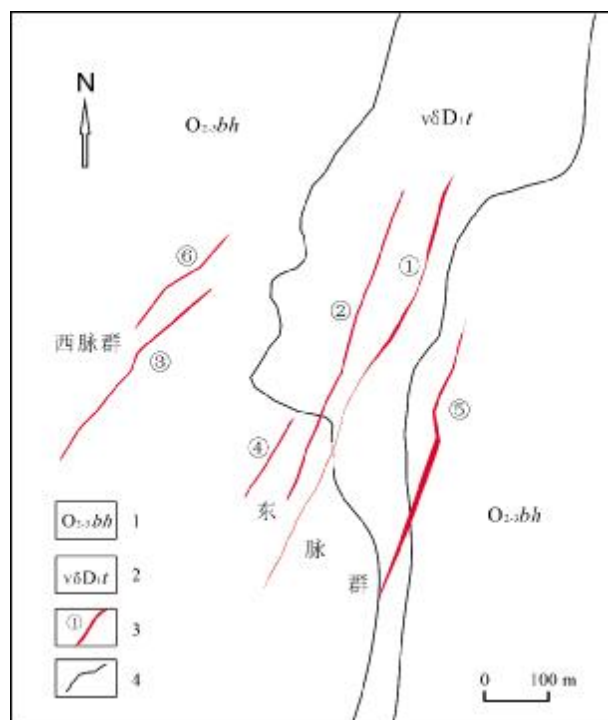


图 2 苍希格钨矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Tsunkheg tungsten orefield
1—中—上奥陶统巴赫留克组砂岩、凝灰岩、角岩 (sandstone, tuff and hornstone of Bakhriuk fm., Middle-Upper Ordovician); 2—早泥盆世陶伊陶古什杂岩体辉长岩、闪长岩 (Early Devonian Taitaogushi complex gabbro and diorite); 3—钨矿石英脉及编号 (tungsten quartz vein and number); 4—地质界线 (geological boundary)

云英岩化表现为脉状、不规则脉状, 多沿硅化石英脉两侧发育, 或沿张性裂隙充填, 多为脉宽 0.5~10 cm 的短脉, 常伴有团块状、浸染状白钨矿化, 与硅化关系密切 (图 3d)。

萤石化表现为浅绿色、紫色萤石, 与硅化以及云英岩化关系密切, 是矿化的标志之一。

钠长石化表现为灰白色钠长石细脉, 与石英细脉共生或单独出现, 常见于深部。

绿泥石化常沿凝灰质粉砂岩沉积构造层理面呈条带状发育, 宽 1~10 mm 不等, 与硅化关系较密切 (图 3e)。

碳酸盐化: 为后期低温热液产物, 呈细脉状充填于裂隙中。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

钨矿体基本产出形式为含钨石英脉, 围岩为中—

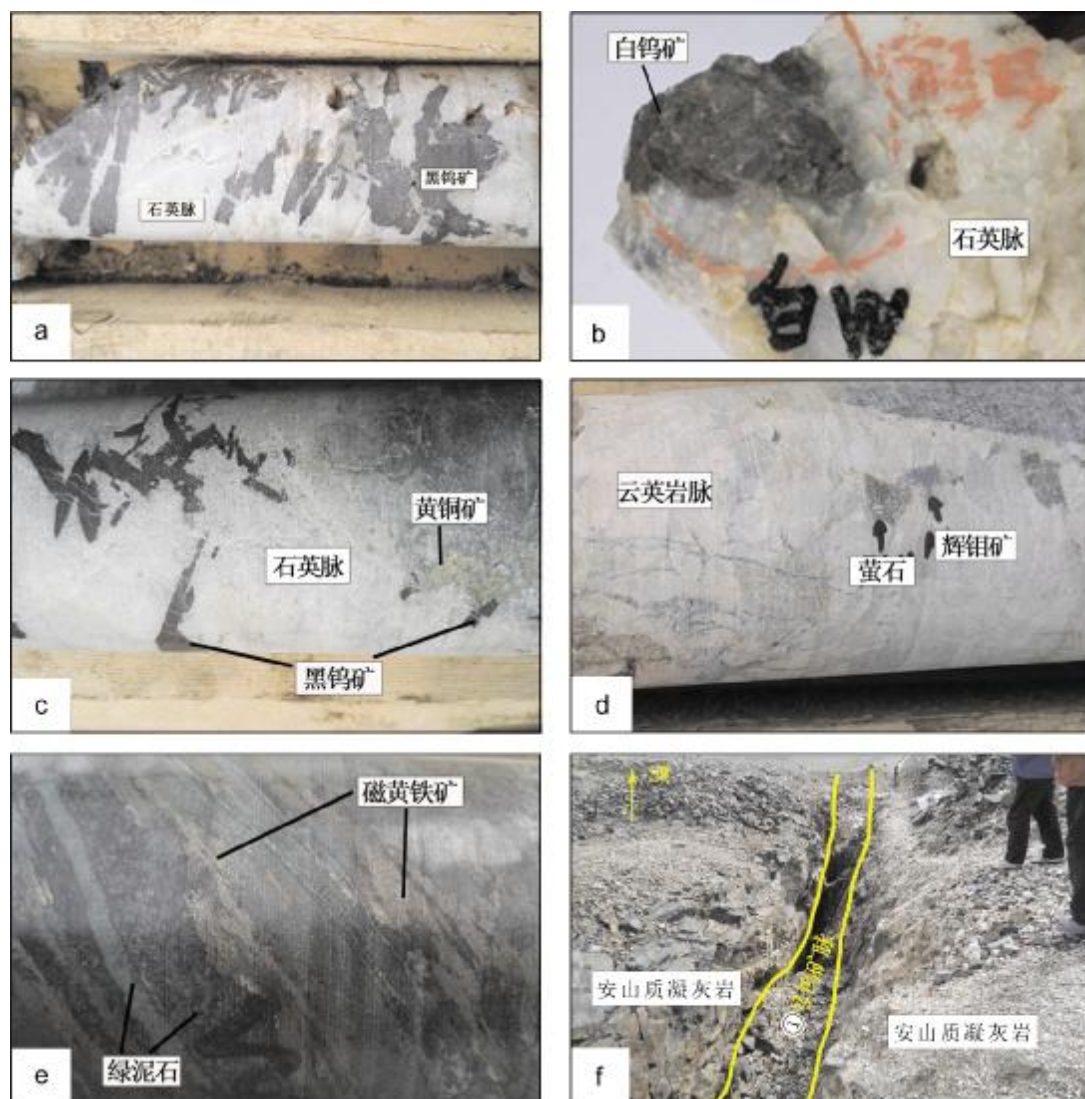


图3 苍希格钨矿典型矿石、蚀变类型及地表形态

Fig. 3 Typical ores, alterations and surface configuration of Tsunkheg tungsten deposit

上奥陶统巴赫留克组火山沉积岩及早泥盆世陶伊陶古什杂岩体,受 NE 向断裂构造控制。矿区共发现钨矿体 31 个,呈脉状、似脉状、透镜状,其中表露矿体 6 个,编号①~⑥号(图 2),其余均为隐伏矿体。

根据矿脉空间分布特征,总体可划分为东、西 2 组脉群(图 2)。西部脉群包括③⑥号等 10 条矿脉,倾向北西;东部脉群包括①②号等 21 条矿脉,倾向南东。2 组脉群由南西向北东呈逐渐汇合趋势。另外,从浅部向深部,矿脉逐渐由石英细脉、网脉向厚大石英脉转变,且矿脉深部大部分未封闭。

规模较大的矿体 3 个,编号为①②③号(图 4)。

①号矿脉为石英脉,赋矿围岩凝灰岩、辉长岩。规

模最大,形态较简单,整体呈脉状、薄板状。矿脉长 430 m,厚 0.14~8.04 m。矿脉走向 25°,北段倾向 SE,南段倾向 NW,倾角 78~90°。沿走向和倾斜方向,局部出现膨大狭缩和分支复合现象,自地表向深部矿脉局部出现反倾。矿脉平均厚度 2.21 m,WO₃ 平均品位为 0.33%。

②号矿脉位于①号脉西侧,两者间距约 30 m,赋矿围岩为凝灰岩、辉长岩。整体呈脉状、薄板状,矿脉长 330 m,厚度 0.16~4.63 m,矿脉走向 25°,以 NW 倾向为主,倾角 78~89°,沿走向和倾斜方向,局部出现膨大狭缩和分支复合现象,自地表向深部矿脉局部出现反倾。矿脉平均厚度 1.75 m,WO₃ 平均品位为 0.34%。

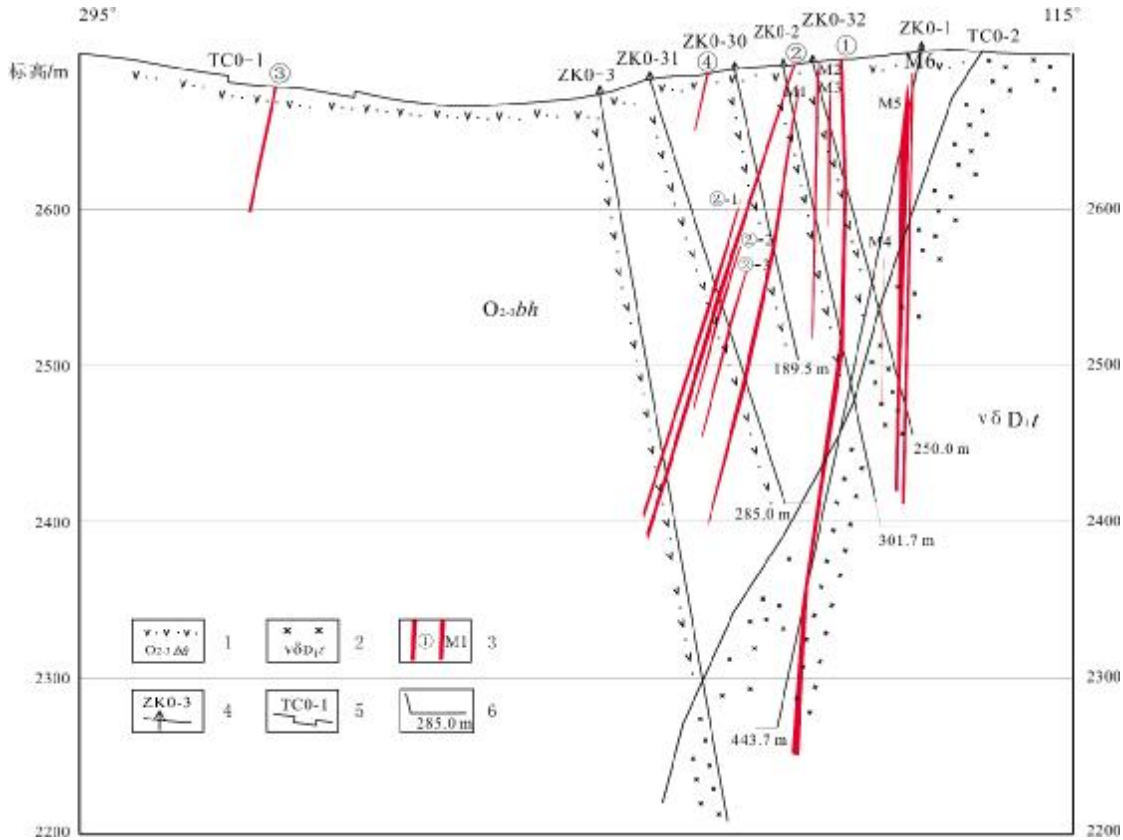


图 4 苍希格钨矿 0 号勘探线剖面图

Fig. 4 Profile along No. 0 exploration line of Tsunkheg tungsten deposit

1—安山质凝灰岩、凝灰质砂岩 (andesitic tuff and tuffaceous sandstone); 2—辉长岩、闪长岩 (gabbro and diorite); 3—矿体及编号 (orebody and number); 4—钻孔位置及编号 (drill hole and number); 5—探槽位置及编号 (trench and number); 6—钻孔深度 (drilling depth)

③号矿脉赋矿围岩主要为凝灰岩, 矿脉形态较简单, 整体呈脉状、薄板状, 矿脉长 139 m, 厚度 0.26~5.50 m, 走向 52°, 以 NW 倾向为主, 倾角 68~81°, 沿走向和倾斜方向, 局部出现膨大狭缩和分支复合现象, 矿脉平均厚度 1.48 m, WO_3 平均品位为 0.70%。

3.2 矿石特征

矿石金属矿物主要为黑钨矿, 次为白钨矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉铋矿、闪锌矿等。非金属矿物主要为石英和斜长石, 其次是白云母、黑云母、绿泥石、萤石、钾长石和方解石等。黑钨矿多呈巢状、团块状、浸染状分布在石英脉中, 黑色、黑褐色至红褐色, 呈连晶或单晶状产出, 为自形一半自形晶, 单晶晶体较粗大, 一般 0.5~5 cm; 团块状集合体一般为 0.5 cm × 1.0 cm ~ 3.0 cm × 6.0 cm (图 3a)。白钨矿呈团块状或不规则粒状、浸染状分布, 无色至淡褐色、蓝白色, 油脂光泽, 矿物粒度大小一般 (0.1~0.2) mm × 1 mm ~

1 mm × 1.2 mm, 个别可达 1 cm (图 3b)。

综合研究表明, 矿区金属矿物组合在水平和垂向上均具有一定的分带性。水平上, 由南向北, 矿物组合由黑钨矿—白钨矿 (少量)—磁黄铁矿—黄铜矿—黄铁矿过渡为白钨矿—黑钨矿 (少量)—黄铜矿—闪锌矿。垂向上, 由浅部至深部, 矿物组合由白钨矿—黑钨矿—黄铜矿—黄铁矿—菱铁矿过渡为白钨矿—辉钼矿—辉铋矿—黄铜矿—闪锌矿。

矿石以自形一半自形不等粒中粗粒结构为主, 构造主要为致密块状构造, 其次为网脉状构造。

4 矿床成因与成矿模式探讨

4.1 成矿物质来源

前人研究表明, 绝大多数锡钨多金属矿床成矿作用与酸性侵入岩浆作用有关^[8]。T. Graupner 等^[5]通过分析成矿流体及流体包裹体特征, 对该矿田成矿机理

进行了分析, Kempe 等^[6]对乌兰乌拉钨矿床成矿时代进行了研究, 显示克孜勒套矿田的矿化是形成于一个低矿化度、低铁和富 CO_2 的热液流体系统. 矿田深部存在隐伏岩体, 该岩体应属于晚泥盆—早石炭世乌兰乌拉杂岩体, 整体上构成一个大型花岗岩穹隆构造^[9]. 从矿区蚀变和矿化特征看, 区内由深部到地表, 硅化、云英岩化、绿泥石化等热液蚀变广泛发育, 近矿围岩黄铁矿化、黄铜矿化、磁黄铁矿化、白钨矿化等矿化明显, 这些蚀变和矿化均沿区内构造裂隙系统分布. 因此, 苍希格钨矿成矿物质与早泥盆世陶伊陶古什杂岩体辉长岩、闪长岩关系不大, 与深部花岗岩体关系密切, 且成矿过程中热液与围岩产生了强烈的水岩反应.

4.2 成矿温度

Graupner 等^[5]对矿区含钨石英脉假次生流体包裹体开展了温度测定, 均一温度为 $190\sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($428\text{ }^{\circ}\text{C}$), 与普遍共识的含钨石英脉的流体包裹体均一温度范围 ($150\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) 一致^[8-10]. 石英脉外围的云英岩型钨矿化的矿化温度更高.

4.3 成矿时代

蒙古阿尔泰造山带为海西期构造带, 花岗岩主体主要形成于加里东期和海西期^[11-15], Kempe 等^[6]采用 Sm-Nd 同位素法对乌兰乌拉钨矿脉进行了年龄测定, 矿脉中黑钨矿和萤石的等时线年龄为 $303\pm 17\text{ Ma}$, 克孜勒套矿田钨矿化与晚泥盆—早石炭世乌兰乌拉杂岩体关系密切, 综合分析认为苍希格钨矿成矿时代与乌兰乌拉钨矿一致, 为海西期晚泥盆—早石炭世.

4.4 矿床成因分析

海西期, 随着科布多深大断裂的频繁活动, 地壳深部熔融产生的岩浆沿断裂构造侵位上升, 在上升过程中, 岩浆所产生的含矿热液在高温高压作用下, 不断以充填方式进入 NE 向次级构造系统, 并与围岩发生不同程度的交代作用, 最终富集成矿. 热液中黑钨矿首先结晶, 之后石英及萤石生成, 然后是白钨矿, 最后沉淀的是石英—低温金属硫化物组合. 矿体严格受断裂构造和构造裂隙系统控制, 主要以充填方式成矿. 矿体呈脉状及不规则细脉网脉状, 多成带、成群出现. 综上所述, 认为苍希格钨矿床成因类型为中高温热液石

英脉型矿床^[16-17].

4.5 成矿模式初探

根据苍希格钨矿成矿地质特征、矿体特征等, 结合石英脉型钨矿典型“5 层楼”成矿模式^[18-20], 初步建立苍希格钨矿成矿模式图, 见图 5.

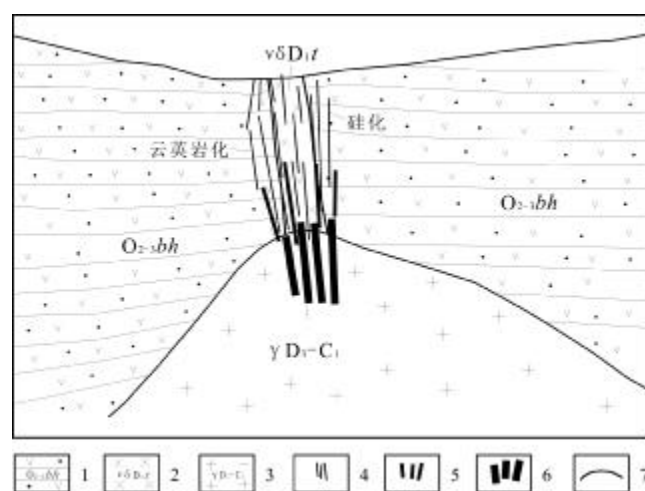


图 5 苍希格钨矿成矿模式图

Fig. 5 Metallogenic model of Tsunkheg tungsten deposit

1—中—上奥陶统巴赫留克组凝灰质砂岩、安山质灰岩、砂岩 (tuffaceous sandstone, andesitic tuff and sandstone of Bakhriuk fm., Middle-Upper Ordovician); 2—早泥盆世陶伊陶古什杂岩体辉长岩、闪长岩 (gabbro and diorite of Early Devonian Taitaogushi complex); 3—晚泥盆—早石炭世二长花岗岩 (Late Devonian-Early Carboniferous monzogranite); 4—线脉带 (linear vein belt); 5—细脉带 (veinlet belt); 6—薄—大脉带 (thin and large vein belt); 7—地质界线 (geological boundary)

5 结论

1) 苍希格钨矿床主要矿石类型为石英脉型黑(白)钨矿石, 少量为云英岩型.

2) 海西期二长花岗岩为区域钨矿成矿母岩, 断裂构造为区域内成矿的重要影响因素, 为导矿、容矿构造.

3) 依据矿体特征、围岩蚀变特征、矿物组合特征及成矿温度等, 初步分析认为, 苍希格钨矿床成因类型为中高温热液石英脉型矿床.

4) 依据成矿模式, 深部花岗岩体接触带具有较大的找矿潜力.

(下转第 245 页 /Continued on Page 245)

- [9]张朋,陈冬,寇林林,等.辽东宽甸东北沟钼矿二长花岗岩年代学、地球化学及 Hf 同位素特征[J].中国地质,2016,43(6):2092-2103.
- [10]Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002,143(5):602-622.
- [11]曾振,孙雷,张兴洲,等.饶河杂岩中枕状玄武岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J].地质与资源,2019,28(2):119-127.
- [12]李怡欣,聂喜涛,张朋,等.老柞山金矿床的成矿时代与成矿背景[J].矿物学报,2011,31(S1):612.
- [13]Wu M, Li L, Sun J G, et al. Geology, geochemistry, and geochronology of the Laozuoshan gold deposit, Heilongjiang Province, Northeast China: Implications for multiple gold mineralization events and geodynamic setting[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 2018,55(6):604-619.
- [14]Yang J H, Wu F Y, Shao J A, et al. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan Fold and Thrust Belt, North China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006,246:336-352.
- [15]Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, et al. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircons[J]. Nature, 1999,399(6733):252-255.
- [16]Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, et al. Early-middle Archean crustal evolution deduced from Lu-Hf and U-Pb isotopic studies of single zircon grains[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000,64(24):4205-4225.
- [17]吴福元,李献华,郑永飞,等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用[J].岩石学报,2007,23(2):185-220.
- [18]宋彪,李锦铁,牛宝贵,等.黑龙江省东部麻山群黑云斜长片麻岩中锆石的年龄及其地质意义[J].地球学报,1997,18(3):306-312.
- [19]李锦铁,牛宝贵,宋彪,等.长白山北段地壳的形成与演化[M].北京:地质出版社,1999:46-53.
- [20]Wilde S A, Dorsett-Bain H L, Lennon R G. Geological setting and controls on the development of graphite, sillimanite and phosphate mineralization within the Jiamusi Massif: An exotic fragment of Gondwanaland located in north-eastern China? [J]. Gondwana Research,1999,2(1):21-46.

(上接第 238 页 /Continued from Page 238)

参考文献:

- [1]李俊建.蒙古地质矿产概况[M].天津:天津科学技术出版社,2013.
- [2]沈光银.蒙古西北部金多金属矿床地质特征及找矿前景[J].矿产勘查,2013,4(2):219-223.
- [3]彭素霞,李永,陈隽璐,等.阿尔泰成矿带首次发现中型白钨矿床[J].中国地质,2018,45(5):1080-1081.
- [4]肖伟,王义天,江思宏,等.南蒙古及邻区地质矿产简图及地形地貌特点[J].地球学报,2010,31(3):473-484.
- [5]Graupner T, Kempe U, Dombon E, et al. Fluid regime and ore formation in the tungsten(-yttrium) deposits of Kyzyltau (Mongolian Altai): Evidence for fluid variability in tungsten-tin ore systems [J]. Chemical Geology, 1999,154(1/4):21-58.
- [6]Kempe U, Belyatsky B V. Direct isotope dating of W (-Y) mineralization at Kyzyltau (Mongolian Altai): Preliminary results [J]. International Geology Review, 2000,42(5):470-480.
- [7]李俊建,刘新秒.蒙古地质矿产研究进展[M].天津:天津科学技术出版社,2013.
- [8]叶天竺,吕志成,庞振山,等.勘查区找矿预测理论与方法[M].北京:地质出版社,2014.
- [9]张发山.蒙古国巴彦乌列盖省乌兰乌拉地区钨钼矿床地质特征及成矿条件[J].地球,2014(11):106-107.
- [10]徐繁昌,李葆华,李表鹏,等.赣南钨矿类型划分及其成矿流体特征[J].地质与资源,2016,25(4):339-344.
- [11]聂凤军,江思宏,白大明,等.蒙古国南部及邻区金属矿床类型及其时空分布特征[J].地球学报,2010,31(3):267-288.
- [12]聂凤军,胡朋,江思宏,等.中蒙边境沙麦-玉古兹尔地区钨和钼(钼)矿床地质特征、形成时代和成因机理[J].地球学报,2010,31(3):383-394.
- [13]李俊建,张锋,任军平,等.中蒙边界地区构造单元划分[J].地质通报,2015,34(4):636-662.
- [14]王鸿祯,何国琦,张世红.中国与蒙古之地质[J].地学前缘,2006,13(6):1-13.
- [15]王涛,童英,李舫,等.阿尔泰山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰为例[J].岩石矿物学杂志,2010,29(6):595-618.
- [16]王佳新,张雪旋,张赋.内蒙古化德县沙拉哈达石英脉型钨矿床成矿地质特征[J].地质与资源,2014,23(2):154-157.
- [17]向安平,陈毓川,余宏全,等.内蒙古苇莲河石英脉型黑钨矿赋矿花岗岩成岩时代、地球化学特征及其地质意义[J].中国地质,2018,45(5):963-976.
- [18]王登红,唐菊兴,应立娟,等.“五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2010,40(4):733-738.
- [19]许建祥,曾载淋,王登红,等.赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J].地质学报,2008,82(7):880-887.
- [20]苏康明,吕书君,孔令兵,等.湖南崇阳坪地区石英脉型钨矿床的地质特征、成矿规律及成矿模式[J].矿床地质,2016,35(5):902-912.