

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2017.03.001

蒙古南戈壁欧玉陶勒盖铜(金)矿床地质特征 及其对我国找矿勘查工作的启示

齐程元, 韩宝福

(北京大学地球与空间科学学院, 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 近二十年来, 蒙古南戈壁成矿带在寻找大宗金属矿产方面取得丰硕成果, 发现了欧玉陶勒盖和查干苏布尔加等与古亚洲洋晚泥盆世岛弧演化有关的大型斑岩型矿床。研究表明: 1) 欧玉陶勒盖—查干苏布尔加地区在法门期弧岩浆与矿化作用之后, 经历了短暂的抬升和剥蚀过程, 随后被石炭纪火山—沉积岩所覆盖。两个矿床皆被埋藏于法门期(D_3)—杜内期(C_1)不整合面之下; 2) 矿床现今出露于石炭纪—二叠纪岩体包围的“天窗”中, 矿体能否保存与其上覆岩层遭受的剥蚀程度有关; 3) 近 EW 向展布的蒙古南戈壁成矿带在欧玉陶勒盖—查干苏布尔加地区受三叠纪—早白垩世准巴彥断裂左旋走滑运动的影响, 局部转变为 NE 走向, 向东可延伸至中国境内东乌旗一带。因此, 在中国内蒙古东乌旗地区开展的找矿勘查工作应重点关注法门期(D_3)—杜内期(C_1)不整合面之下的晚泥盆世侵入体及其围岩, 并在成矿远景区进行相应的区域构造解析研究。

关键词: 铜(金)矿; 斑岩型矿床; 矿床地质特征; 找矿启示; 欧玉陶勒盖; 查干苏布尔加; 蒙古南戈壁成矿带

中图分类号: P618.41; P613 **文献标识码:** A

0 引言

蒙古南戈壁成矿带位于中亚造山带南缘(图1a), 该区域古生代地层广泛出露, 晚古生代岩浆岩十分发育, 各类金属矿床星罗棋布, 不仅是中亚成矿带的重要组成部分, 也是探讨中蒙边境地区地壳演化过程的关键部位^[1-4]。近二十年来, 蒙古南戈壁地区接连发现多处大型—超大型金属矿床, 其中欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi)特大型斑岩型铜(金)矿床以其矿化范围之大、矿体埋藏之浅、铜金含量之高和杂质成分之少而著称于世^[5]。

受蒙古找矿工作成功经验的启发, 我国在位于

蒙古南戈壁成矿带东向延长线上的东乌旗地区先后部署和开展了多项有关铜多金属矿床的勘查和研究工作, 但目前在大宗金属矿产方面一直没有较大突破^[6]。根据现有资料, 毗邻国家的优势矿种与我国境内大体相似, 但在矿床数量和规模上明显有别, 境外古生代地层内所赋存矿产远比我国丰富^[7-14]。要突破这一现状, 首先应对境外大型金属矿床的资料进行深入的综合分析, 再对我国具有相似成矿条件的地区进行资源前景评价。本文旨在通过分析蒙古国南戈壁省欧玉陶勒盖铜(金)矿床的成矿地质背景和控矿因素, 结合同区域查干苏布尔加铜(钼)矿床的地质特征, 深化对南蒙古晚泥盆世成矿地质条件的认识, 以期为我国与其相邻地区找矿工作提供新的参考。

收稿日期: 2017-05-16; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号:2013CB429806)资助。

作者简介: 齐程元(1991—), 男, 硕士, 构造地质学专业。通信地址: 北京市海淀区颐和园路5号, 北京大学地球与空间科学学院; 邮政编码: 100871; E-mail: qcy@pku.edu.cn

通信作者: 韩宝福(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学研究。通信地址: 北京市海淀区颐和园路5号, 北京大学地球与空间科学学院; 邮政编码: 100871; E-mail: bfhfan@pku.edu.cn

1 成矿地质背景

蒙古南戈壁成矿带位于蒙古国南部,大致呈 EW 向延伸,但在欧玉陶勒盖地区因受到 NE 走向

的准巴彦(Zuunbayan)左旋走滑断层活动影响而发生明显位移(图 1b、图 2b)。该成矿带发育在晚古生代泥盆纪—石炭纪火山—深成岩带上,以欧玉陶勒盖、查干苏布尔加(Tsagaan Suvarga)等为代表的斑岩型铜多金属矿床(点)与浅成斑岩的侵位密切相关。

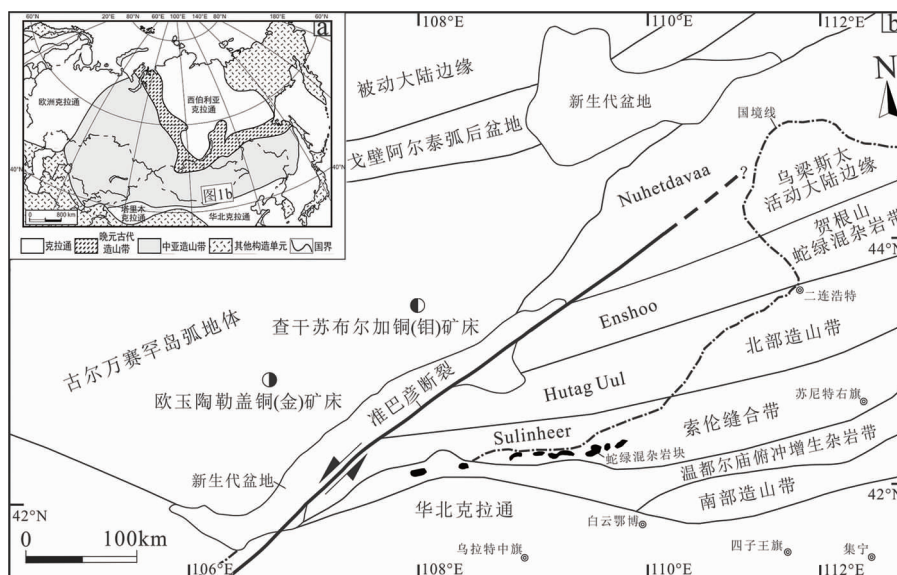


图 1 中亚造山带大地构造简图(a)和南蒙古及邻区构造分区简图(b)

(a 图据文献[15]修改;b 图据文献[16-18]修改)

Fig. 1 Geotectonic outline map of the Central Asian Orogenic Belt (a) and the tectonic division map of the Southern Mongolia and adjacent areas (b)

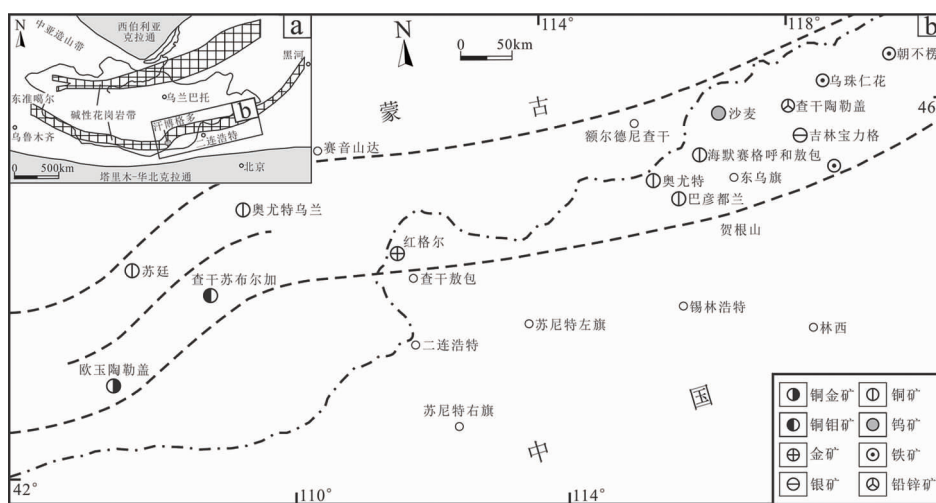


图2 中亚造山带南部晚石炭世—早二叠世碱性花岗岩带分布略图(a)和南戈壁—东乌旗成矿带矿床分布简图(b)

(a 图据文献[19-22]修改;b 图据文献[8,23]修改)

Fig. 2 Sketch showing distribution of the Late Carboniferous-Early Permian alkaline granitic belt in the southern Central Asian Orogenic Belt (a) and ore deposits in the South Gobi-Dongwuqi metallogenic belt (b)

中国东乌旗地区的矿床分布于蒙古南戈壁成矿带的东向延长线上(见图 2b),位于贺根山构造混杂岩带以北。南戈壁成矿带(区)在古生代时期,属西伯利亚东南缘陆缘增生带;中生代受到滨太平洋构造活动的强烈影响,处于古亚洲和滨太平洋两大构造域的叠加交汇部位。目前东乌旗一带已知的铜矿床(点)和铜多金属异常达百余处,大多数都与晚古生代构造-岩浆活动有关^[6],但目前为止仍未发现特大型矿床。

中国东乌旗地区与蒙古南戈壁成矿带具有相似的成矿环境和地质背景,同属于晚古生代陆缘增生带,泥盆纪、石炭纪和二叠纪火山岩、侵入岩共同构成规模宏大的近 EW 向—NEE 向—NE 向晚古生代火山-岩浆岩带^[8]。此成矿带南界大致位于中国查干敖包—贺根山一线,北界位于蒙古赛音山达—额尔德尼查干一线;向东方可向延入中国东北,向西方向可进入中国新疆东准噶尔地区,长达数千公里,宽几十到近百公里,是中国北方和蒙古南部重要的成矿区带。此成矿带矿床类型以斑岩型铜多金属矿床为主,晚古生代泥盆纪—石炭纪是成矿的高峰期之一^[4,8];在该成矿带寻找泥盆纪—石炭纪与岩浆活动有关的铜钼金等金属矿产还有巨大潜力。

2 矿床地质特征

2.1 欧玉陶勒盖斑岩型铜(金)矿床地质特征

欧玉陶勒盖斑岩型铜(金)矿床位于蒙古国南戈壁省(见图 1b、图 2b),北距蒙古首都乌兰巴托市约 550 km,南距中蒙边境约 80 km,地理坐标 E 106°51′、N 43°01′。大地构造位置处于南蒙古晚泥盆世构造-岩浆岩带中段,西伯利亚板块南缘近 EW 向和 NE 向深大断裂所夹持的晚古生代岛弧带内^[6,24-26]。矿床矿体规模巨大(据绿松石山资源公司(原加拿大艾芬豪蒙古矿业公司)发布的信息,铜矿资源量为 $3\ 687 \times 10^4$ t,金矿资源量为 1 314 t,另有推测的钼矿资源 11×10^4 t),是世界级超大型斑岩型铜(金)矿床^[27]。

欧玉陶勒盖地区出露地层分为泥盆系阿拉嘎巴彦群(Alagbayan Group)和石炭系古尔万克哈拉特群(Gurvankharaat Group)(图 3),自下而上分别是:玄武质火山岩,矿化碎屑岩,未矿化英安岩,碎屑沉积岩外来体,破碎角砾岩,砂岩、砾岩,火山碎屑岩等^[13]。泥盆纪—石炭纪地层序列中包含有两期不

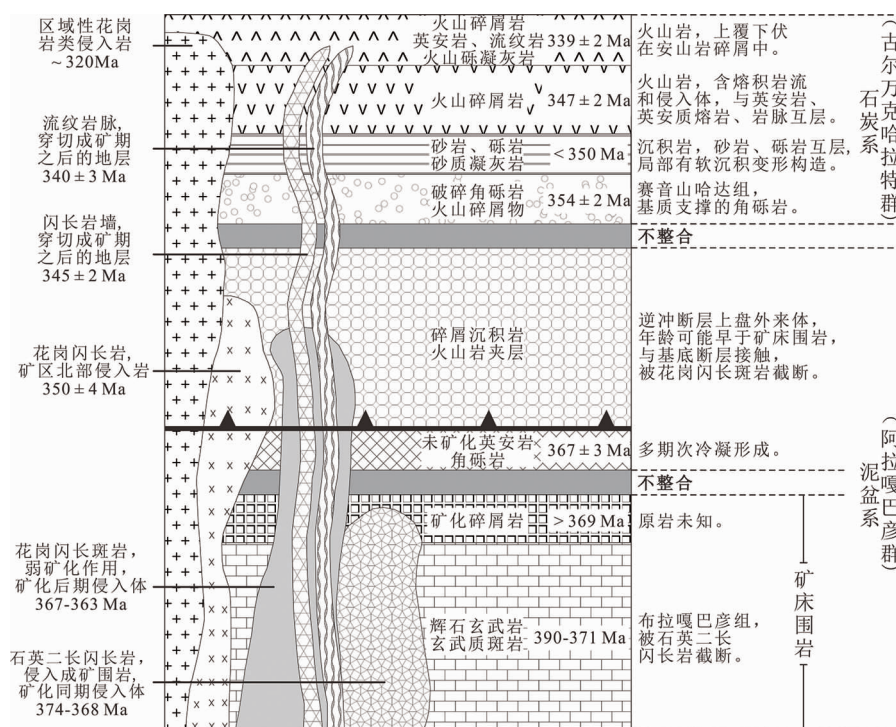


图 3 欧玉陶勒盖地区上古生界综合柱状图(据文献^[13]修改)

Fig. 3 Comprehensive column of the Late Paleozoic period for the Oyu Tolgoi area

整合和一个逆冲断层。第一期不整合产生于矿床形成之后的晚泥盆世法门期,第二期不整合产生于早石炭世的杜内期。逆冲断层存在于未矿化英安岩与碎屑沉积岩外来体之间,形成的时代可能晚于 320 Ma。矿床围岩为泥盆系阿拉嘎巴彦群的玄武质火山岩和矿化碎屑岩序列。

矿区范围内 NW 向、EW 向和 NE 向断裂广泛分布,其中 NE 向和 NW 向断裂交汇处常常产出有具工业价值的铜(金)矿体^[11,25,28]。整个矿区是一个 NNE 向的矿化走廊,一条弧形的 EW 向北倾断层将其分隔成北部雨果杜梅特(Hugo Dummett)地区和南部欧玉陶勒盖地区(图 4b)。在矿化走廊北部,石炭纪花岗闪长岩体与泥盆纪围岩以逆冲断层相接触;在南部,NNE 向的泥盆纪岩石与一系列上泥盆统一石炭系盖层序列以走滑断层相接触^[13,27]。

矿区内侵入体主要是泥盆纪—二叠纪花岗岩类岩体。矿区内共包含两期与成矿有关的热液系统,第一期为与主矿化作用相关、矿化同期的石英二长闪长岩,其锆石 U-Pb 年龄 374~368 Ma;第二期为具弱矿化作用、矿化后期的花岗闪长斑岩,其锆石 U-Pb 年龄 367~363 Ma^[13](见图 3、表 1)。上泥盆统或者更老的地层被这两期岩体所侵入。另外,矿区还出露有后期无矿化的 350~320 Ma 的花岗闪长岩、闪长岩墙、纹岩岩脉以及区域性的花岗岩类侵入体等。

欧玉陶勒盖矿床成矿相关岩体形成于晚泥盆世,而周围地区岩体的形成时代皆为石炭纪—二叠

纪(见图 4a),矿体仅产出于石炭纪地层局部被剥蚀后形成的“天窗”中。欧玉陶勒盖地区在晚泥盆世弧岩浆与矿化作用之后,经历了显著的剥蚀和埋藏过程,矿化相关岩体及围岩被埋藏于两期不整合以及后期石炭纪地层之下。

2.2 查干苏布尔加斑岩型铜(钼)矿床地质特征

在区域范围内,欧玉陶勒盖矿床 NE 向约 155 km 处的查干苏布尔加,出现了类似欧玉陶勒盖的成矿情况。查干苏布尔加斑岩型铜(钼)矿床位于 E108°20'、N43°52'处(见图 1b、图 2b),是蒙古国境内第三大斑岩型铜(钼)矿床,形成于晚泥盆世的岛弧环境^[7,9,23]。

查干苏布尔加矿区侵入岩主要是查干苏布尔加花岗杂岩,出露面积约 130 km²,被石炭纪火山岩和火山碎屑岩等覆盖,局部与石炭系围岩呈断层接触(图 5)^[23,30]。矿区内 NE 向和 NW 向断裂及裂隙发育,主要控矿构造是出露在查干苏布尔加杂岩体边缘呈雁列状分布的构造带,主矿体产在其北部。

查干苏布尔加斑岩型铜(钼)矿床与杂岩体中的花岗闪长斑岩、正长花岗斑岩和二长花岗斑岩等具有密切的时空关系。辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 370 Ma^[7,30],容矿花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 367 Ma,容矿二长花岗斑岩侵位年龄为 366 Ma^[23,30],三者均属晚泥盆世(见表 1)。

地质资料显示,矿床的成矿斑岩体在上地壳侵位形成矿床后,被抬升至地表经历了短暂的剥蚀过程,随后有石炭纪地层沉积覆盖其上。该矿床的矿体

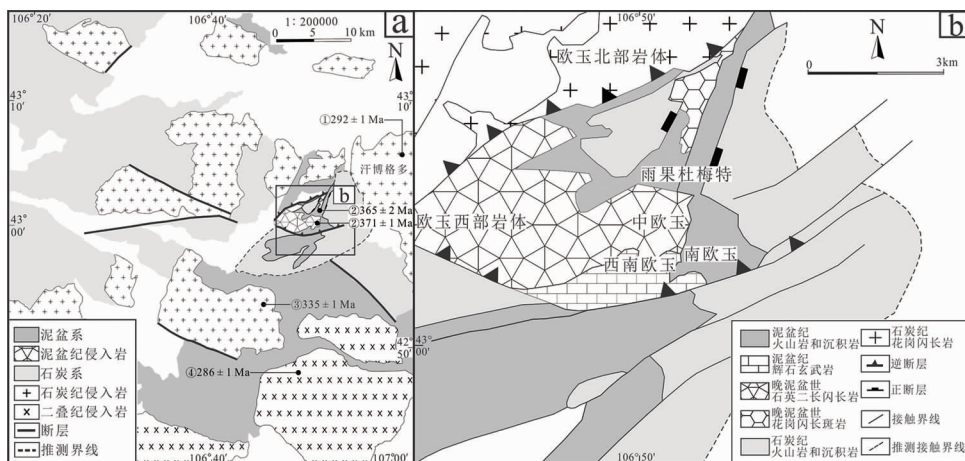


图 4 欧玉陶勒盖区域地质简图及锆石 U-Pb 年龄(a)和矿床地质图(b)

(a 图据文献[13]修改,年龄资料来源:①据文献[21],②据文献[13],③据文献[29],
④据文献[26];b 图据文献[27]修改)

Fig. 4 Geological regional sketch with U-Pb dating data of Oyu Tolgoi area (a)
and the geological map of the Oyu Tolgoi deposit (b)

表 1 蒙古南戈壁地区矿床(点)及相关岩体年龄

Table 1 Age data from the ore deposits (occurrences) and related plutons in the South Gobi, Mongolia				
矿床(点)及相关岩体	岩性	方法	年龄/Ma	数据源
欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi) 斑岩型铜(金)矿床	容矿围岩蚀变带中的黑云母	K-Ar	411±3	文献[25]
	侵入矿化碎屑序列石英二长闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	374±3~368±3	文献[13]
	辉钼矿	Re-Os 等时线	373~370	文献[28]
	矿化石英闪长岩	TIMS 锆石 U-Pb	371±1	文献[13]
	未矿化英安岩	TIMS 锆石 U-Pb	367±3	文献[13]
	弱矿化的花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	367±2~363±4	文献[13]
	铜(金)矿石中原生明矾石	K-Ar	320±3	文献[25]
	成矿后期正长岩脉黑云母	K-Ar	307±4	文献[28]
	次生氧化富集带内与辉铜矿共生的明矾石	K-Ar	117±1, 93±1	文献[28]
欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi) 南西 15 km 岩体	黑云母花岗岩	LA-ICP-MA 锆石 U-Pb	335±1	文献[29]
欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi) 南 20 km 岩体	碱长花岗岩	LA-ICP-MA 锆石 U-Pb	286±1	文献[26]
欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi) 南东 25 km 岩体	正长岩	K-Ar	307±4	文献[25]
查干苏布尔加(Tsagaan Suvarga) 斑岩型铜(钼)矿床	辉钼矿	Re-Os 等时线	370±6	文献[30]
	辉钼矿	Re-Os 等时线	370±1	文献[7]
	容矿花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	367±4	文献[23]
	含矿二长花岗斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	366±4	文献[30]
	主矿体内绢云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	365±7	文献[7]
	成矿期后细粒花岗岩	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	324±7	文献[7]
	二长岩脉中的黑云母	K-Ar	313±3	文献[7]
奥尤特乌兰(Oyut Ulaan)	容矿花岗岩	TIMS 锆石 U-Pb	339±1	文献[16]
	二长岩	TIMS 锆石 U-Pb	330±1	文献[16]
	火山岩	TIMS 锆石 U-Pb	323±1	文献[16]
苏廷(Shuteen)斑岩型铜矿床	安山岩	全岩 Rb-Sr 等时线	336±24	文献[31]
	容矿花岗闪长斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	333±5	文献[23]
	花岗岩脉	TIMS 锆石 U-Pb	326±1	文献[16]
	花岗岩	全岩 Rb-Sr 等时线	322±9	文献[31]
青狐狸(Bronze Fox)	花岗闪长岩	TIMS 锆石 U-Pb	334±1	文献[16]
那瑞胡塔格(Narin Hudag)	二长岩	TIMS 锆石 U-Pb	333±1	文献[16]
汗博格多(Khan Bogd) 钼(钨)稀土矿床	碱性花岗岩	TIMS 锆石 U-Pb	292±1	文献[20]
	黑云母花岗岩	TIMS 锆石 U-Pb	290±1	文献[20]
北曼达赫(North Mandakh)	A 型或偏碱性花岗岩	TIMS 锆石 U-Pb	292±1	文献[16]

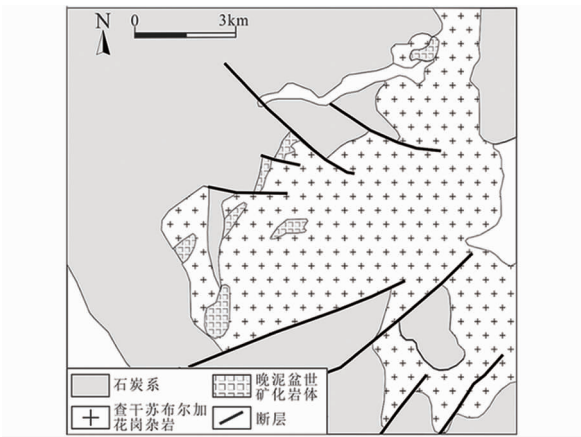


图 5 查干苏布尔加矿区地质简图(据文献[30]修改)
Fig. 5 Geological sketch of Tsagaan Suvarga area

也都产出于石炭系盖层被局部剥蚀后出露的晚泥盆世斑岩体中。晚泥盆世成矿岩体与上覆石炭纪地层之间存在至少 7 Ma 的沉积间断,揭示出查干苏布尔加地区晚泥盆世有一期不整合的存在。综上所述,查干苏布尔加与欧玉陶勒盖的矿床地质特征具有很强的相似性。

3 讨论

3.1 矿床空间分布及延伸特征

欧玉陶勒盖铜(金)矿床和查干苏布尔加铜(钼)矿床弧岩浆与矿化作用几乎同时产生于晚泥盆世,

大地构造背景相同(图 6)。二者沿 NE 向展布,构成了南蒙古一条晚泥盆世的斑岩型成矿带。在成矿带北西侧还分布有众多石炭纪斑岩型铜矿床(点)(见图 2b),构成了一条早石炭世斑岩型成矿带,以奥尤特乌兰(Oyut Ulaan)、苏廷(Shuteen)为代表^[16,23]。

欧玉陶勒盖—查干苏布尔加成矿带与准巴彦断裂近平行展布(见图 1b)。准巴彦断裂向 SW 方向可延伸至中国内蒙古英巴地区^[18],NE 方向可延至中国东北地区的头道桥—鄂伦春断裂^[33]。该断裂形成于三叠纪—早白垩世,左旋走滑位移约 185~235 km^[34],与欧玉陶勒盖和查干苏布尔加二者的距离相近。两个矿床现今呈 NE 向分布很可能是受中生代准巴彦断裂左旋剪切运动的影响所致,而二者之间的距离略小于断裂位错距离,可能与形成时的原始相对位置有关。

南蒙古地区晚泥盆世具岛弧背景的斑岩型矿床形成之后,又叠加了石炭纪—二叠纪构造-岩浆作用(见图 4a)。在欧玉陶勒盖矿床东侧就是汗博格多碱性花岗岩体,其形成时代为 292 Ma^[20],是中亚造山带南部碱性花岗岩带的重要组成部分(见图 2a)。该碱性花岗岩带从新疆北部经南蒙古再向东延伸至中国境内,直至小兴安岭的嫩江—黑河地区,碱性花岗岩显示出从西向东逐渐年轻的趋势^[4,19,21-22,35]。

在南蒙古欧玉陶勒盖—查干苏布尔加地区,碱性花岗岩带也受准巴彦断裂左旋走滑运动影响,走向发生了一定偏转,形成 EW 向—NE 向—EW 向的曲折变化(见图 2a)。南戈壁成矿带也因此呈现出“S”形的展布特征,NEE 向可延伸至中国境内的内蒙古东乌旗一带(见图 2b)。

3.2 上覆盖层剥蚀程度对矿床保存的影响

在区域范围内,与欧玉陶勒盖、查干苏布尔加矿床成矿相关的晚泥盆世岩体及围岩被后期沉积的石炭系基性—中性火山岩、火山碎屑岩和沉积岩覆盖,矿体出露于石炭系被剥蚀后暴露出来的“天窗”中(见图 4a)。因此,矿床能否保存下来,与剥蚀程度有关。

南戈壁成矿带延伸至中国境内之后,应位于内蒙古东乌旗一带,该地区发育奥陶系—二叠系^[17,36-37]。显然,现今出露泥盆系甚至奥陶系的区域很可能是剥蚀程度较大的地方,即使原来曾发育与欧玉陶勒盖和查干苏布尔加相似的成矿相关序列,也可能因为强烈的剥蚀作用而不复存在,因此,保存与欧玉陶勒盖和查干苏布尔加同期类似的晚泥盆世斑岩型矿床的可能性很小。相反,在剥蚀程度较小的地方,地表仍覆盖有石炭纪火山—沉积岩,晚泥盆世弧岩岩浆成矿作用形成的矿体极有可能依然埋藏在深部,可能更具有找矿勘探的意义。

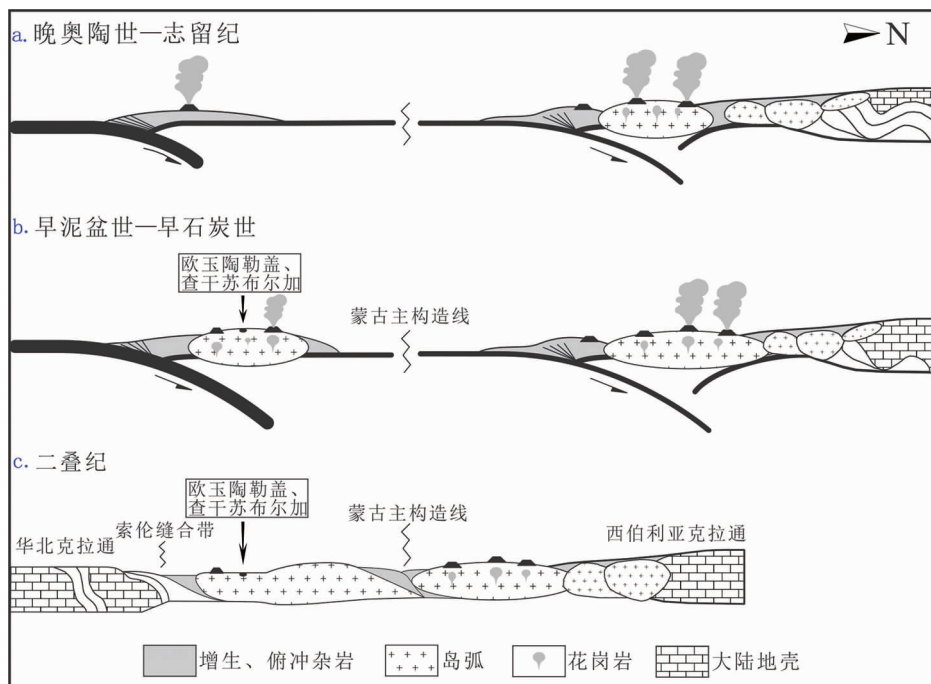


图 6 南蒙古构造背景图(据文献[32]修改)

Fig. 6 Paleotectonic map of Southern Mongolia

3.3 法门期(D₃)—杜内期(C₁)不整合的重要性

在欧玉陶勒盖矿区,矿化碎屑岩之上存在第一期不整合,碎屑岩外来体之上为第二期不整合。两期不整合形成的时间限定在369—354 Ma之间(约15 Ma),揭示了在法门期到杜内期之间,欧玉陶勒盖地区矿床形成之后通过抬升剥蚀,形成了第一期不整合,矿化相关的序列被剥露后经历了短暂的沉积过程,随后再次遭受抬升剥蚀,形成了第二期不整合,从石炭纪早期开始进入了持续的沉积过程。在查干苏布尔加矿区也具有相似的特征,但目前资料仅揭示存在一个不整合。因此,在开展找矿勘查工作时应重点关注法门期(D₃)—杜内期(C₁)不整合之下的晚泥盆世侵入岩体及围岩。

在我国境内的二道井—查干诺尔—红格尔和苏尼特左旗—锡林浩特等地,也多处存在晚泥盆世法门期到早石炭世杜内期的不整合面^[12,38-40]。显然,这些不整合与欧玉陶勒盖—查干苏布尔加地区的不整合是否具有相同的地质意义,还需要进一步研究。

另外,我国内蒙古东乌旗一带在成矿元素组合方面与南蒙古地区有一定差异。从目前的资料来看,南蒙古地区主要产出与晚泥盆世中酸性侵入岩有关的斑岩型铜(金)、铜(钼)矿床,规模较大,成矿元素组合相对简单;而在内蒙古东乌旗地区,成矿元素组合复杂,且比南蒙古地区更多地受到滨太平洋构造-岩浆-成矿事件的强烈叠加^[8,41]。因此,在该区开展找矿勘查工作时,还要注意其特殊性。

4 结语

(1)欧玉陶勒盖和查干苏布尔加斑岩矿床在晚泥盆世弧岩浆与矿化作用之后,经历了短暂的抬升剥蚀-沉积过程,矿化相关岩体及围岩被埋藏于法门期(D₃)—杜内期(C₁)不整合面之下。

(2)矿床出露于石炭纪火山-沉积岩系被剥蚀后暴露出来的“天窗”之中。矿床能够被保存下来,是因为其上覆石炭纪地层局部被剥蚀殆尽,但具晚泥盆世岛弧背景的成矿体系受到的影响很小。

(3)蒙古南戈壁成矿带在南蒙古地区的展布受中生代准巴彦断裂左旋剪切运动的影响,走向发生了EW向—NE向—EW向的转变,向东可延伸至我国境内的内蒙古东乌旗一带。找矿勘查工作应部署在成矿带中仍保留石炭系的地区,且应重点关注法门期(D₃)—杜内期(C₁)不整合之下的晚泥盆世

侵入岩体及围岩,并需要开展详细的区域构造解析研究。

致谢:笔者在论文撰写期间,得到了北京大学地球与空间科学学院郑波、冯丽霞、孔令杰等人的大力帮助,特此表示感谢!

参考文献:

- [1] 唐克东. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 1-277.
- [2] 徐志刚. 大兴安岭及其邻区构造演化及控矿作用[M]//赵一鸣, 张德全. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价, 北京: 地震出版社, 1997: 1-21.
- [3] 芮宗瑶. 西北、华北、东北斑岩铜矿床研究[M]//涂光炽. 中国超大型矿床, 北京: 科学出版社, 2000: 397-425.
- [4] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 176-189.
- [5] 张义, 聂凤军, 江思宏, 等. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. 地质通报, 2003, 22(9): 708-712.
- [6] 张新元, 聂秀兰. 蒙古国南部欧玉陶勒盖铜(金)矿田找矿勘查与成矿理论研究新进展[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 373-382.
- [7] Watanabe Y, Stein H J. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. Economic Geology, 2000, 95: 1537-1542.
- [8] 王守光, 黄占起, 苏新旭, 等. 一条值得重视的跨境成矿带: 南戈壁—东乌旗铜多金属成矿带[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 249-255.
- [9] Dejidmaa G. Mineral Resources and Metallogenic Belts in southern Mongolia [M]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits, IAGOD Guidebook Series 11, London 2005: 149-153.
- [10] 方维萱, 杨社锋, 刘正桃, 等. 蒙古查干苏布尔加(Tsagaan Suvarga)大型斑岩型铜钼矿床含矿蚀变岩常量、微量和稀土元素地球化学特征及意义[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(1): 85-94.
- [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] 童英, 洪大卫, 王涛, 等. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 395-412.
- [13] Wainwright A J, Tosdal R M, Wooden J L, et al. U-Pb (zircon) and geochemical constraints on the age, origin, and evolution of Paleozoic arc magmas in the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au district, Southern Mongolia [J]. Gondwana Research, 2011, 19(3): 764-787.

- [14] 李俊建, 唐文龙, 付超, 等. 中蒙边界地区成矿区带划分[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 461-487.
- [15] Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, et al. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China [J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122(3): 627-640.
- [16] Blight J H S, Petterson M G, Crowley Q G. The Oyut Ulaan Volcanic Group: stratigraphy, magmatic evolution and timing of Carboniferous arc development in SE Mongolia [J]. Journal of the Geological Society, 2010, 167(3): 491-509.
- [17] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Evolution of a Permian intraoceanic arc-trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia [J]. Lithos, 2010, 118(1-2): 169-190.
- [18] Zhou Y Z, Han B F, Zhang B, et al. The Yingba shear zone on the Sino-Mongolian border: Southwestern extension of the Zuunbayan Fault from Mongolia to China and implications for Late Mesozoic intracontinental extension in Eastern Asia [J]. Tectonophysics, 2012, 574-575(11): 118-132.
- [19] 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 1994, 68(3): 219-230.
- [20] Kovalenko V I, Yarmoluyk V V, Sal'nikova E B. Geology, Geochronology, and Geodynamics of the Khan Bogd alkali granite pluton in southern Mongolia [J]. Geotectonics, 2006, 40(6): 450-466.
- [21] Yarmolyuk V V, Kovalenko V I, Sal'nikova E B, et al. Geochronology of igneous rocks and formation of the Late Paleozoic south Mongolian active margin of the Siberian continent [J]. Stratigraphy and Geological Correlation, 2008, 16(2): 162-181.
- [22] Jahn B M, Litvinovsky B A, Zandvilevich A N, et al. Peralkaline granitoid magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: Evolution, petrogenesis and tectonic significance [J]. Lithos, 2009, 113(3-4): 521-539.
- [23] 朱明帅, Chimedtsere A, Munkhtsengel B, 等. 蒙古国查干苏布尔加和苏廷铜矿容矿斑岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄—对南戈壁斑岩型铜矿成矿时代及成矿背景的约束[J]. 地质通报, 2015, 34(4): 675-685.
- [24] Gerel O. Phanerozoic Felsic Magmatism and Related Mineralization in Mongolia [J]. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 1998, 49: 239-248.
- [25] Perello J, Cox D, Garamjav D. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian Porphyry Cu-Au-(Mo) and High-Sulfidation Cu Mineralization with a Cretaceous Chalcocite Blanket [J]. Economic Geology, 2001, 96(6): 1407-1428.
- [26] 唐文龙, 李俊建, 付超, 等. 蒙古国 Oyu Tolgoi 外围碱长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 553-558.
- [27] 方俊钦, 聂凤军, 徐备, 等. 蒙古国欧玉陶勒盖斑岩型铜(金)矿田的找矿新进展[J]. 地质科技情报, 2013, 32(5): 188-194.
- [28] Kirwin D J, Forster C N, Kavalierj S I. The Oyu Tolgoi copper-gold deposit, South Gobi, Mongolia [M]// Eltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits, IAGOD Guidebook Series 11, London 2005: 155-174.
- [29] 陈正, 李俊建. 南蒙古地区西南欧玉花岗岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 578-582.
- [30] 侯万荣, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国查干苏布尔加大型铜-钼矿床地质特征及成因[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 307-320.
- [31] Batkhishig B, Noriyoshi T, Greg B. Magmatism of the Shuteen Complex and Carboniferous subduction of the Gurban-saikhan terrane, South Mongolia [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37(5): 399-411.
- [32] Wainwright A J, Tosdal R M, Forster C N, et al. Devonian and Carboniferous arcs of the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au district, South Gobi region, Mongolia [J]. Geological Society of America Bulletin, 2011b, 123(1-2): 306-328.
- [33] 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.
- [34] Lamb M A, Hanson A D, Graham S A. Left-lateral sense offset of Upper Proterozoic to Paleozoic features across the Gobi Onon, Tost, and Zuunbayan faults in southern Mongolia and implications for other central Asian faults [J]. Earth & Planetary Science Letters, 1999, 173(3): 183-194.
- [35] Wu F Y, Sun D Y, Li H. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. Chemical Geology, 2002, 187(1-2): 143-173.
- [36] Xiao W, Windley B F, Hao J. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. Tectonics, 2003, 22(6): 8-1.
- [37] Xu B, Charvet J, Chen Y, et al. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1342-1364.
- [38] 唐克东, 张允平. 内蒙古缝合带的构造演化[M]//肖序常, 汤耀庆. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化, 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 30-54.
- [39] 李述靖, 高德臻. 内蒙古苏尼特左旗地区若干地质构造新发现及其构造属性的初步探讨[J]. 现代地质, 1995, 9(2): 130-140.
- [40] 徐备, 陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化[J]. 中国科学: 地球科学, 1997(3): 227-232.
- [41] 余学中, 薛春纪, 丛丽娟, 等. 二连浩特一带境内外构造-成矿带的衔接问题浅析[J]. 地学前缘, 2011, 18(2): 231-241.

Geologic features of the Oyu Tolgoi deposit in South Gobi, Mongolia, and its implications for prospecting in China

QI Chengyuan, HAN Baofu

(*The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE),
School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: In the past two decades, great progress in exploration of large porphyry metal deposits has been made in the South Gobi metallogenic belt of Mongolia where large porphyry deposits, such as Oyu Tolgoi Cu-Au and Tsagaan Suvarga Cu-Mo deposit, which were formed in a Late Devonian arc associated with the Paleo-Asian Ocean have been discovered. Study shows: ①the Oyu Tolgoi-Tsagaan Suvarga area was uplifted and denudated after the Famennian arc magmatism and mineralization, shortly followed by the deposition of the Carboniferous volcanic-sedimentary rocks and the two deposits are below the Famennian-Tournaisian unconformity; ②deposits occur currently in the windows surrounded by the Carboniferous-Permian rocks so the preservation of ore body strongly depends upon the denudation degree of overlying rocks; ③the EW-trending of South Gobi metallogenic belt of Mongolia extends eastwards to the Dongwuqi of Chin in spite of its turning NE locally in the Oyu Tolgoi-Tsagaan Suvarga area due to the influence of the left-lateral Zuunbayan faulting during the Triassic-Early Cretaceous. Therefore, prospecting for large porphyry metal deposits in the Dongwuqi should mainly focus on Late Devonian intrusions and their country rocks below the Famennian-Tournaisian unconformity with help of structural analyses in potential areas.

Key Words: Cu(Au) deposit; geologic features; porphyry deposit; geological characteristics of ore deposit; prospecting implications; Oyu Tolgoi; Tsagaan Suvarga; South Gobi metallogenic belt in Mongolia