

巴布亚新几内亚奥克泰迪铜金矿床成矿特征 和控制因素

信迪, 刘京, 李雷, 冉丽, 宋学信

XIN Di, LIU Jing, LI Lei, RAN Li, SONG Xue-xin

中矿资源勘探股份有限公司, 北京 100089

Sinomine Resource Exploration Co. Ltd., Beijing 100089, China

摘要:巴布亚新几内亚西部Fubilan山奥克泰迪矿床是一个世界级铜金矿床,在大地构造上位于新几内亚造山带的巴布亚褶皱带。该矿床的铜金矿化赋存于Fubilan二长斑岩及其周边的磁铁矿夕卡岩和硫化物夕卡岩中。矿石类型以原生硫化物矿石为主,金属矿物包括磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、斑铜矿等。蚀变类型包括夕卡岩化、钾化、泥化和青盘岩化。矿床氧化次生富集带发育,表生矿石矿物为蓝辉铜矿、辉铜矿、自然铜、铜蓝和银金矿。成矿作用主要受区域构造、侵入杂岩体、Darai组灰岩地层、断裂等因素的控制。根据矿床的主岩、矿石特征、蚀变特征和控矿因素,认为该矿床成因类型属于较为典型的夕卡岩—斑岩型矿床。

关键词:奥克泰迪铜金矿床;成矿特征;成矿控制因素;夕卡岩;斑岩铜矿;巴布亚新几内亚

中图分类号:P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2014)02/03-0299-09

Xin D, Liu J, Li L, Ran L, Song X X. Metallogenic characteristics and controlling factors of the Ok Tedi Cu-Au deposit, Papua New Guinea. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(2/3):299-307

Abstract: Lying in Mt Fubilan of West Papua New Guinea, the Ok Tedi deposit is a world class copper-gold deposit. Tectonically, it belongs to the Papua fold belt of the New Guinea Orogenic belt. Copper-gold mineralization of the deposit occurs in the Fubilan monzonite porphyry, and its surrounding magnetite skarn and sulfide skarn. The primary sulfide ores which are composed of such minerals as magnetite, pyrite, pyrrhotite, marcasite, chalcopyrite and chalcocite constitute the predominant ore type. There exists a secondary oxidation-secondary enrichment zone in the deposit. The alteration types include skarnization, potassic alteration, argillic alteration and propylitic alteration. The supergene ore minerals include digenite, chalcocite, native copper, covellite and electrum. Mineralization is mainly controlled by regional structures, intrusive complex, limestones of the Darai Formation and faults. According to the features of host rock, ore and alteration as well as the controlling factors of mineralization, the authors classify the Ok Tedi deposit as a typical skarn-porphyry Cu-Au deposit.

Key words: Ok Tedi copper-gold deposit; characteristics of mineralization; controlling factors of mineralization; skarn; porphyry copper deposit; Papua New Guinea

奥克泰迪铜金矿床位于巴布亚新几内亚西部边界星岭山脉的Fubilan山上,矿床中心位置南纬5°12′、东经141°8′,海拔高度2053m(图1)。其拥有铜储量336×10⁴t和金储量280t,是一个世界级铜金矿床^[1],也有数据^[2]表明,奥克泰迪矿床铜储量为448×

10⁶t,金储量为441t^[2]。矿山开采始于1984年,曾经是巴布亚新几内亚西部省和全国重要的经济来源之一。原计划矿山于2013年关闭,后因矿山寿命延长(MLE),可行性研究表明其服务年限可延至2022年,将兴建2个新的地下矿山和1个露天矿山,矿山

收稿日期:2013-11-22;修订日期:2014-01-16

资助项目:中央地勘基金项目(编号:201130D06200123)

作者简介:信迪(1985-),女,硕士,工程师,从事地质矿产勘查与研究。E-mail:wokomen@163.com

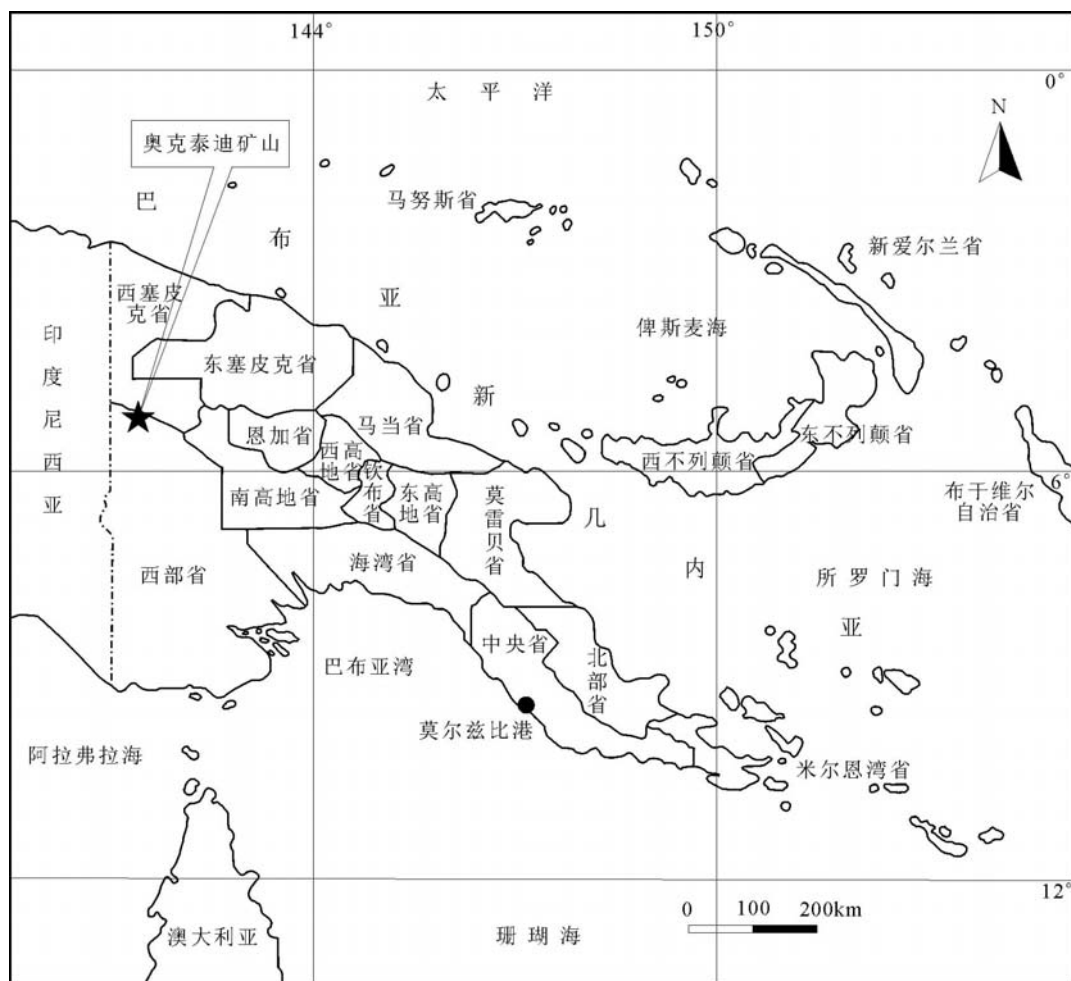
图1 奥克泰迪矿山位置图^①

Fig. 1 Location of the Ok Tedi mine, PNG

规模要比现在小得多。本文论述奥克泰迪铜金矿床的区域地质背景、主要成矿特征(赋矿地层岩石、矿物组合、化学成分和蚀变特征)和成矿控制因素,并对其成因类型进行归属研究。

1 区域地质背景

奥克泰迪铜金矿床在大地构造上位于新几内亚造山带的巴布亚褶皱带(西部)。岛弧与澳大利亚克拉通北缘相碰撞,是形成巴布亚新几内亚造山带(从早中新世起)的主要原因^[3]。西新几内亚造山带近乎EW走向,自北向南由巴布亚褶皱带、新几内亚逆冲带、贝瓦尼—托里塞里地体和菲尼斯特雷地体组成。

区域地层由白垩系到中中新统的低缓大陆边

缘海相沉积岩组成(图2),覆盖于稳定的西巴布亚地台古生代变质岩和花岗岩之上^[5]。广泛出露白垩系 Ieru 组泥岩和砂岩、中新统 Darai 组灰岩、中中新统 Pnyang 组炭质泥岩、粉砂岩和灰岩、晚中新统一上新统碎屑岩。侏罗系变质沉积岩和古近系一新近系变质岩、火成岩分布于区域北部。Ok Tedi 侵入杂岩是不连续的更新世到全新世火山岩岩浆带的一部分,也是形成巴布亚新几内亚造山带南部逆冲带中性侵入体的一部分^[6-8]。

该矿床地处NE向奥克泰迪转换断层的东南侧和核部为基底的穆勒(Muller)背斜(长度大于150km)西端的南翼。区内构造复杂,发育微弱—中度褶皱和逆掩断层,中生代和中中新世沉积物相和厚度变化很大,为渐新世早期—中新世早期太平洋板

图2 奥克泰迪矿床区域地质图^[4]

Fig. 2 Regional geological map of the Ok Tedi deposit

块与印度—澳大利亚板块进行WSW向碰撞作用期间增生和造山作用的结果。

2 矿床地质特征

2.1 地层与岩石

采矿区出露地层为白垩系Ieru组泥岩、海绿石砂岩和中新统Darai组灰岩。Darai组被奥克泰迪(Ok Tedi)侵入杂岩体所侵入(在矿区北部还有一个Mt. Ian杂岩体),呈不整合接触覆于Ieru组之上(图3)。Sydney二长闪长岩岩株^[9]是奥克泰迪杂岩体最老的侵入单元,长约2.5km,宽约1.5km。基于钻孔

岩心的矿床地质三维模型表明,Sydney二长闪长岩是近直立的板状体,至少向下延伸700m^[10]。其岩石呈斑状、次斑状到等粒状结构,由中长石、单斜辉石、正长石、角闪石和黑云母组成,常见的副矿物为榍石、磷灰石和磁铁矿。

Fubilan二长斑岩是大部分斑岩Cu—Au矿化作用的主岩,由奥长石、正长石、石英、被热液黑云母交代的角闪石和黑云母斑晶,以及磷灰石、榍石,金红石和磁铁矿等副矿物组成,基质为长英玻璃质。此岩石的形成年龄为1.2Ma^[11],也是更大的钙碱性奥克泰迪侵入杂岩的一部分(图4),侵入到周围的沉积岩和稍老的二长闪长岩岩株中,即奥克泰迪侵入于杂岩的悉尼二长闪长岩中^[4]。

此外,晚期暗色基性岩墙切穿上述所有岩体,一般宽度为3m。火成侵入岩和热液角砾岩(图版I-a、b),亦见于Fubilan二长斑岩岩体内。

2.2 矿体和矿石特征

大量的磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿和辉铜矿组成的块状矿石见于矿区多处。铁帽发育于近地表块状矿石之上。夕卡岩也存在于矿体内,但是其所含金属和规模居次,以石榴子石、辉石或含水钙铝硅酸盐存在为特征。块状矿石比重大于3.25,并含有90%以上的磁铁矿和硫化物,伴有少量或不含钙硅酸盐。

奥克泰迪的块状矿石矿体分为2种类型:平伏的席状或板状矿体和陡倾的板状或管状矿体。平伏型块状矿石矿体受Purgatory(Taranaki)逆断层系控制,局限于逆断层与Darai灰岩(Ieru粉砂岩之上)并行产出之处。陡倾的块状矿石矿体是通过构造破裂带(诸如侵入或接触角砾岩)的充填和交代作用形成的。

除块状矿石外,还可见条带状矿石(条带状磁铁矿石和条带状磁铁矿—硫化物矿石(图版I-c、d)。有时可见在条纹一条带状磁铁矿—硫化物矿石中有不规则后期硫化物细脉发育(图版I-e)。

有些块状矿石与大量夕卡岩(Gold Coast和Paris矿段)伴生(图3),然而其它地段(Edinburgh、New Glasgow和Sulphide Creek)的块状矿石中未见较多的夕卡岩矿物(石榴子石、单斜辉石)。

夕卡岩包括内夕卡岩、钙硅酸盐夕卡岩、块状磁铁矿夕卡岩和块状硫化物夕卡岩。具有较大经济意义的Cu—Au夕卡岩体皆赋存于逆断层附近的侵入岩体与灰岩接触带上(图3)。在有些地段,夕卡岩矿

图3 奥克泰迪杂岩体地质图^[4]

Fig. 3 Geological map of Ok Tedi complex

体因遭受风化和表生作用而使铜、金品位升高。

由于降水量极大(10mm/a)和山区板块的快速隆升(2mm/a),风化速率极高(3mm/a),导致原来的深成浸染状铜矿化发生强烈氧化。表生作用包括硅酸盐部分变为粘土、硫化物几乎全部氧化为针铁

矿,铜在较深处沉淀为辉铜矿、蓝辉铜矿和铜蓝,形成铜的次生富集。

2.3 矿石矿物组合

原生硫化物包括黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、白铁矿和磁黄铁矿。夕卡岩风化—表生带矿物包括蓝

图 4 奥克泰迪矿区地质图^[12]

Fig. 4 Geological map of the Ok Tedi mining area

辉铜矿、黄铜矿、自然铜和铜蓝;硫化物氧化带矿物包括针铁矿、赤铜矿、孔雀石和蓝铜矿。

电子探针、扫描电子显微镜等研究表明,在原生矿石中80%的金为不可见金,基本上呈含金深成黄铁矿—白铁矿、斑铜矿—铁铜蓝和黄铜矿产出。相反,镜下观察发现,在铜淋滤帽中80%的金为可见金,即金在次生铜硫化物中呈半自形含铜银金矿包裹体,或在次生铁氧化物中呈自形含铜银金矿颗粒产出。

2.4 矿石化学成分

硫化物矿石的有用元素含量为:Cu 0.1%~0.2%

(地表),0.3%~0.4%(深部);Mo 0.011%~0.02%;Au 0.2g/t。

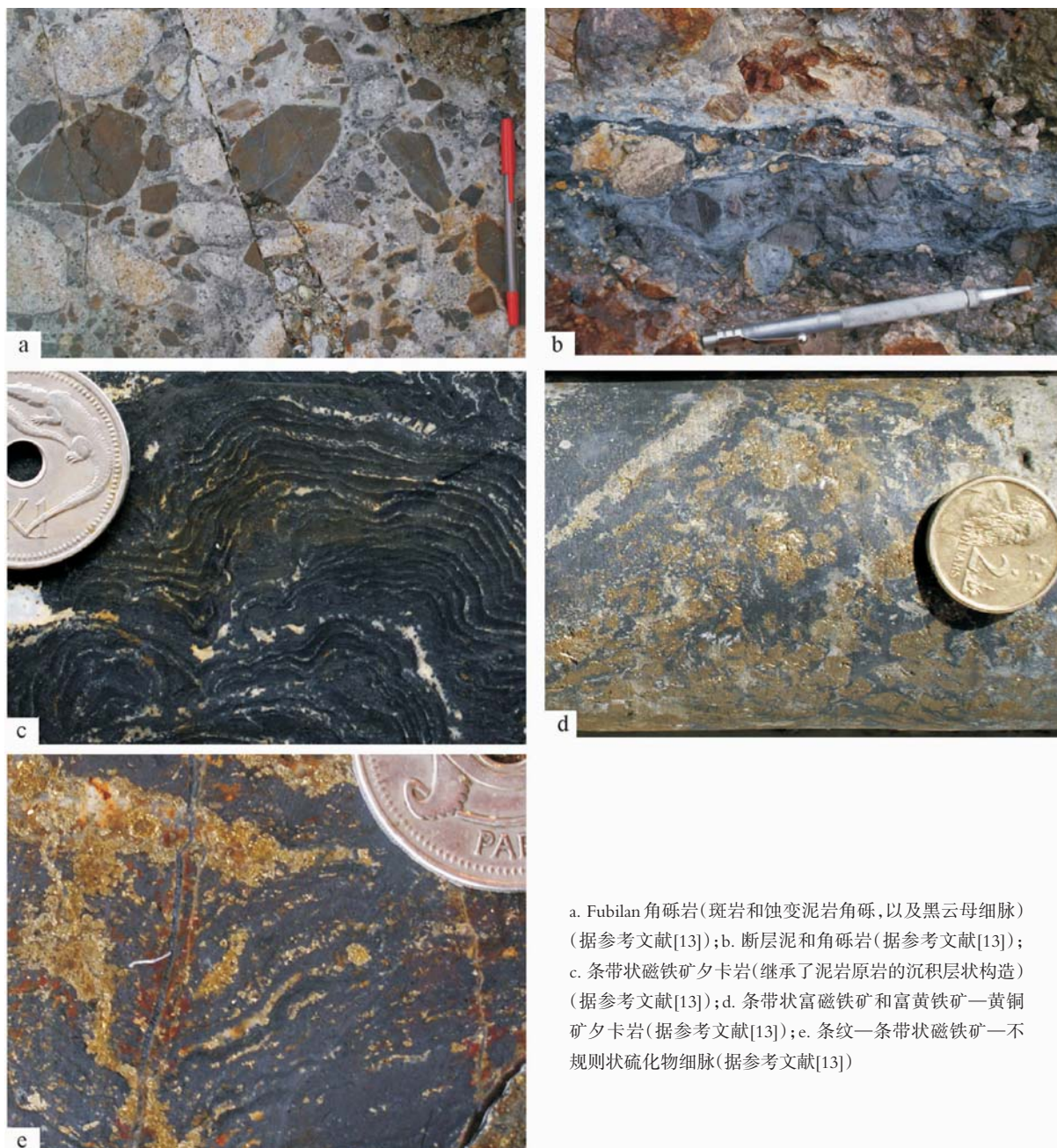
淋滤帽(金帽)矿石的有用元素含量为:Cu 0.05%;Au > 5g/t(地表),0.5g/t(深部)。

金、铜品位随深度变化情况见图5。

3 蚀变类型

奥克泰迪矿床热液蚀变包括夕卡岩化和斑岩型热液蚀变。广泛的蚀变是由于一次或多次热液事件造成的。与矿化有关的Fubilan二长斑岩的黑云母和全岩的K-Ar法年龄为1.24~1.11Ma^[11,15]。

图版 I Plate I



a. Fubilan 角砾岩(斑岩和蚀变泥岩角砾, 以及黑云母细脉)(据参考文献[13]); b. 断层泥和角砾岩(据参考文献[13]); c. 条带状磁铁矿夕卡岩(继承了泥岩原岩的沉积层状构造)(据参考文献[13]); d. 条带状富磁铁矿和富黄铁矿—黄铜矿夕卡岩(据参考文献[13]); e. 条纹—条带状磁铁矿—不规则状硫化物细脉(据参考文献[13])

(1) 夕卡岩化

Katchan^[16]指出, 在奥克泰迪大部分夕卡岩为内夕卡岩。Darai 组碳酸盐岩形成的夕卡岩(外夕卡岩)很少, 这也许是剥蚀作用将 Ieru 组以上的岩层(包括 Darai 组)剥蚀掉的缘故。

Williamson 等^[14]将夕卡岩分为前进(prograde)和退化(retrograde)两类。前进夕卡岩矿物组合为

石榴子石和辉石。退化夕卡岩组合矿物为绿帘石、阳起石和透闪石。这两类夕卡岩均被磁铁矿交代并被硫化物超覆。

(2) 斑岩型热液蚀变

强烈的斑岩型热液蚀变限于 Mt. Fubilan 岩株和 Ningi 斑岩的部分地段。在这 2 个岩体中, 钾化蚀变发育, 以大量的次生钾长石、钠长石和金云母质

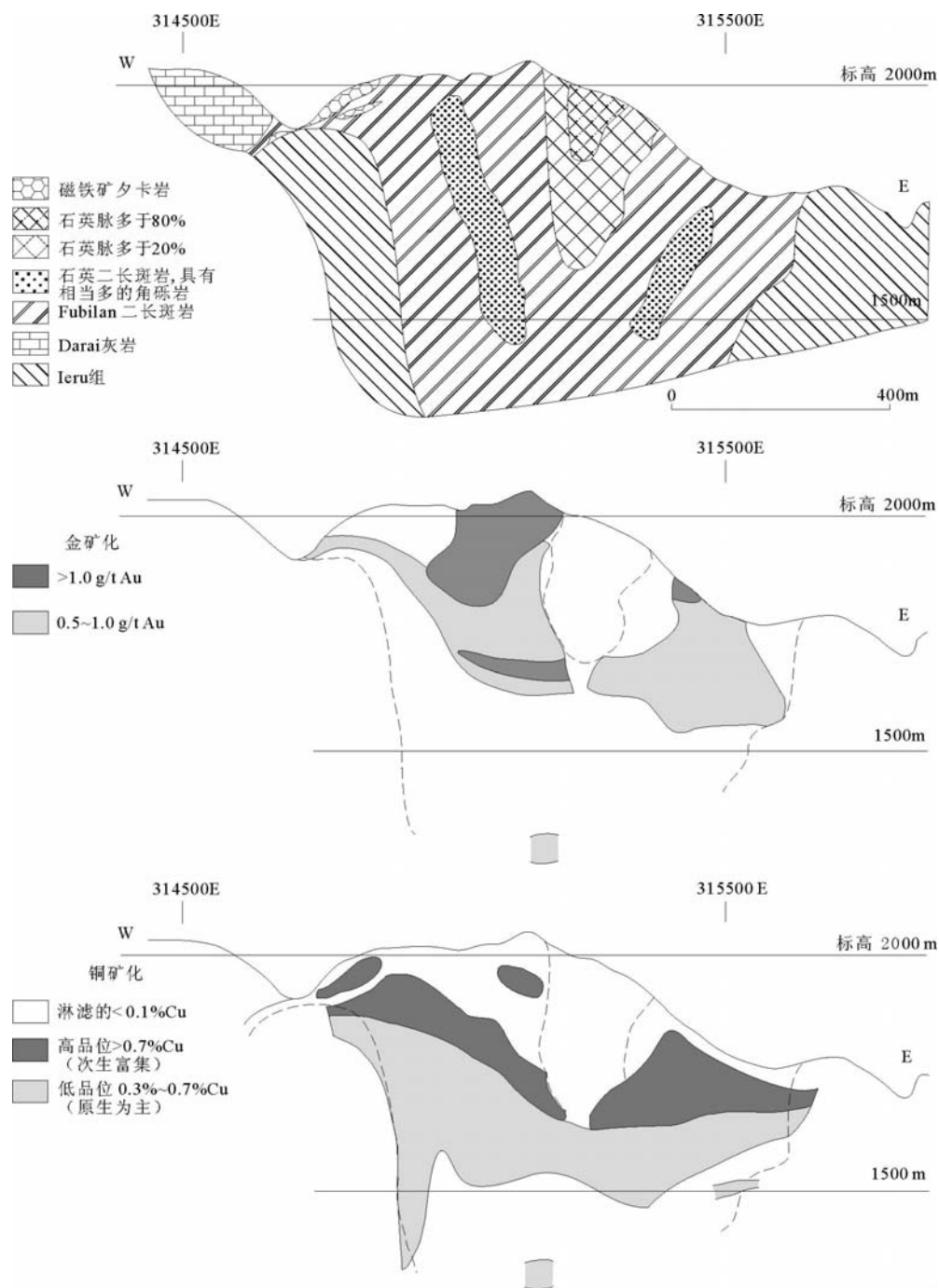
图5 奥克泰迪矿区铜和金品位随深度变化图^[14]

Fig. 5 Variation of copper and gold grades with depth in the Ok Tedi mining area

黑云母存在为特征。奥克泰迪开采的铜金矿石就存在于钾化蚀变的岩石中。

钾化蚀变集中于主岩株的中心,环绕石英网脉带发育。石英网脉带呈胡萝卜状产出,由浸溢状硅质、石英网脉±绢云母—粘土组成。Rush^[9]综合奥

克泰迪以往蚀变方面的研究将钾化蚀变分为Ⅰ、Ⅱ两相。Ⅰ相钾化带由深棕到绿棕色的原生火成云母、钾长石和金红石(榍石)组成,伴有黄铜矿和假象赤铁矿化磁铁矿;Ⅱ相钾化带由金云母质云母、红棕色云母、钾长石和金红石(榍石)组成,伴有黄

铜矿、斑铜矿、辉钼矿和金。

泥化带紧邻钾化带,特征矿物组合是高岭石和蒙脱石,伴有浸染状假象赤铁矿化磁铁矿、铁氧化物,少量次生绢石和罕见的硫化物矿物。泥化与 Fubilan 岩株的表生蚀变伴生,并且常见于初期开采富金矿石时移除的淋滤帽中。

低强度的青磐岩化存在于卡尔古利侵入体和未分异的悉尼侵入体中。青磐岩化以阳起石、绿帘石、方解石和少量绿泥石的存在为特征。青磐岩化一般不发育,周围沉积岩的热液蚀变表现为褪色钾质长石的出现,伴有黄铁矿和少量黄铜矿、辉铜矿。

奥克泰迪的交代分带为:侵入体±次生黑云母—蒙脱石化侵入体—弱夕卡岩化带—单斜辉石带—石榴子石带—磁铁矿带—大理岩或粉砂岩^[16-17]。

4 成矿控制因素和矿床成因类型

4.1 成矿控制因素

奥克泰迪矿床的形成由多方面有利于成矿的地质条件所决定,主要包括区域构造、岩体、地层岩性和断裂构造4个方面。

(1) 区域构造因素

奥克泰迪铜金矿床赋存于穆勒(Muller)背斜西端南翼和NE向奥克泰迪转换构造东南侧(图2)。巴布亚新几内亚许多重要的铜金矿床都与转换构造有比较密切的空间关系,其它实例还有波尔盖拉金矿床、弗里达河铜金矿床、延德拉铜(钼)金矿床、瓦菲金矿床等。

(2) 岩体因素

奥克泰迪侵入杂岩中 Fubilan 二长斑岩的侵入活动对矿化有重要的控制作用,斑岩铜矿矿石主要赋存于 Fubilan 二长斑岩体内部的破碎(裂隙)带内。Fubilan 二长斑岩侵入到相对不透水的 Ieru 组粉砂岩中,粉砂岩对含矿流体具有密封作用^[4]。Fubilan 二长斑岩体发育典型的斑岩型浸染状硫化物矿化,而且这也是成矿物质的主要来源。

(3) 地层岩性因素

Darai 组灰岩与 Fubilan 二长斑岩的接触带上,由于热液交代作用不仅形成内夕卡岩,而且形成钙硅酸盐夕卡岩、块状磁铁矿夕卡岩、块状硫化物夕卡岩等外夕卡岩。接触带较为平整,矿体和矿石的产出位置部分受到 Darai 组控制。

(4) 断裂构造因素

区内构造复杂,发育较多断层,部分断层切割矿体,部分断层控制矿体的发育。矿体沿断层面和逆冲面的前期、中期和后期侵位滑移,夕卡岩形成于这些断层和逆冲面上,野外证据表明构造控制岩体侵位和矿化作用^[4]。奥克泰迪侵入作用发生在大型逆冲断层的上盘,该逆冲断层与更深的断层相连(图6)^[3,6]。断层既是矿质运移、聚集、贮存的通道,又直接控制着矿体的空间分布。

4.2 矿床成因类型

Duncan^[17]认为,奥克泰迪矿床的磁铁矿—灰岩接触带平整,钙质硅酸盐岩石发育于磁铁矿靠近侵入体一侧,可以与美国西南部的斑岩—夕卡岩

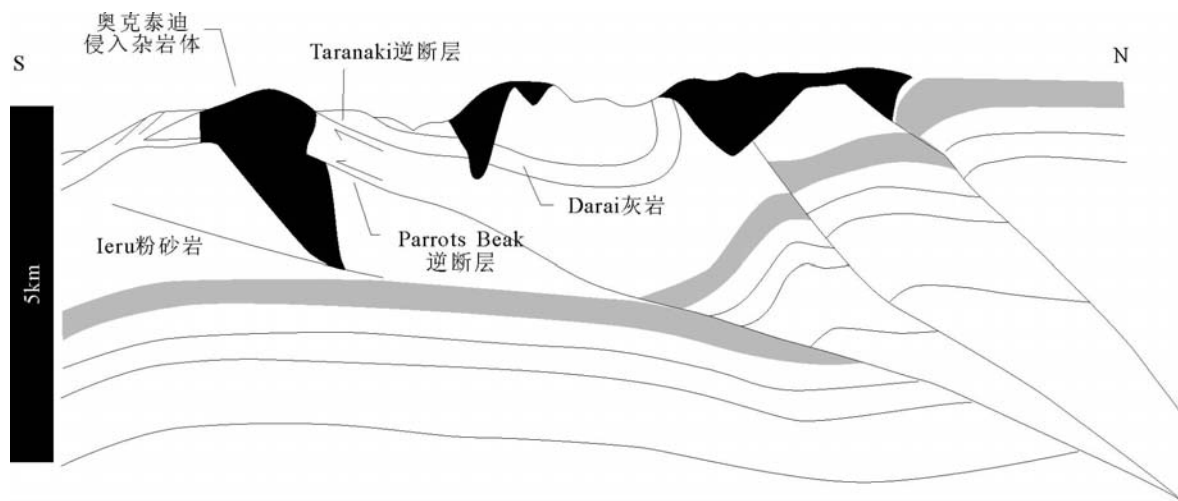


图6 奥克泰迪矿床地质剖面图^[10]

Fig. 6 Geological cross-section of the Ok Tedi deposit

模式^[18]直接对比。根据矿床的主岩、矿石、蚀变特征和成矿控制因素认为,奥克泰迪铜金矿床的成因类型属于较为典型的夕卡岩—斑岩型矿床。其与印尼伊里安查亚的格拉斯贝格—埃尔茨贝格矿床类型相似,并与后者同处于同一个构造成矿带,即新几内亚造山带铜金成矿带上。

5 结 论

(1)奥克泰迪矿区地处新几内亚造山带的巴布亚褶皱带,区域和矿区构造复杂。夕卡岩体和Fubilan二长斑岩是大部分铜—金矿化的主岩,原生矿石矿物主要为磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等。

(2)蚀变类型包括夕卡岩化和斑岩型热液蚀变。斑岩型热液蚀变为钾化、泥化、青磐岩化等,其中钾化蚀变分为Ⅰ、Ⅱ相。夕卡岩体遭受强烈的风化作用,因而该矿床氧化—次生富集带较发育。

(3)成矿控制因素主要为区域构造(转换构造和背斜)、Fubilan二长斑岩和Darai组灰岩与Fubilan二长斑岩的接触带。

(4)奥克泰迪矿床与印尼伊里安查亚的格拉斯贝格—埃尔茨贝格矿床成因类型相似,属于较为典型的夕卡岩—斑岩型矿床。

致谢:南京地质调查中心姚仲友教授级高级工程师、王天刚博士及中矿资源勘探股份有限公司李文光工程师参加了奥克泰迪铜金矿床野外地质考察,巴布亚新几内亚矿产资源局(MRA)时任地调部长Leonard Cranfield在野外考察过程中给予热情的帮助,文中部分插图由中矿资源勘探股份有限公司郭江涛博士和祝魏涛先生清绘,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]Cooke D R, Hollings P. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls[J]. *Economic Geology*, 2005, 100(5): 801–818.
- [2]Singer D A, Berger V I, Moring B C. Porphyry copper deposits of the world: Database, maps, and preliminary analysis[R]. U. S. Geological Survey Open-file Report, 2002, 2–268: 1–20.
- [3]Hill K C, Kendrick R D, Crowhurst P V. Copper–gold mineralisation in New Guinea: tectonics, lineaments, thermochronology and structure[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2002, 49: 737–752.
- [4]Van Dongen M, Tomkins A G, Weinberg R F. Trace element remobilization at the Ok Tedi porphyry Cu–Au deposit, Papua New Guinea[C]//*Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting*, Dublin, 2007: 427–430.
- [5]Bamford R W. The Mount Fubilan (Ok Tedi) porphyry copper deposit, Territory of Papua and New Guinea[J]. *Economic Geology*, 1972, 67: 1019–1033.
- [6]Arnold G O, Griffin T J. Intrusions and porphyry copper prospects of the Star Mountains, Papua New Guinea[J]. *Economic Geology*, 1978, 73: 785–795.
- [7]Mason R A. Structure of the Alice Anticline, Papua New Guinea: serial balanced cross-sections and their restoration[J]. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19: 719–734.
- [8]Housh T, McMahon T P. Ancient isotopic characteristics of Neogene potassic magmatism in Western New Guinea (Irian Jaya, Indonesia)[J]. *Lithos*, 2000, 50: 217–239.
- [9]Rush P M, Seegers H J. Ok Tedi copper–gold deposits[M]. *Aus IMM Monograph Series 14, Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*, 1990, 2: 1747–1754.
- [10]Van Dongen M, Weinberg R F, Tomkins A G, et al. Recycling of Proterozoic crust in Pleistocene juvenile magma and rapid formation of the Ok Tedi porphyry Cu–Au deposit, Papua New Guinea [J]. *Lithos*, 2010, 114(3/4): 282–292.
- [11]Page R W, McDougall I. Ages of mineralization of gold and porphyry copper deposits in the New Guinea Highlands[J]. *Economic Geology*, 1972, 67: 1034–1048.
- [12]Pangum L S, Manlapig E V, Mackinnon I D R, et al. Flotation process response of Ok Tedi fluorine bearing minerals[C]//*Hancock G E. Proceedings of PNG Geology, Exploration and Mining Conference*, Madang, 10–12 October, 1997. Carlton: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1997: 178–180.
- [13]Weinberg R F, Van Dongen M. Ok Tedi Mine (Papua New Guinea): Fluid Paths, Magnetite Skarn and Sulfide Deposition in a Porphyry Cu–Au Deposit(2011–10) [2013–12–03] http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Ok_tedi/Ok_tedi.htm.
- [14]Williamson A, Hancock G. The Geology and Mineral Potential of Papua New Guinea[M]. Port Moresby: Papua New Guinea Department of Mining, 2005: 152.
- [15]Page R W. Geochronology of late Tertiary and Quaternary mineralized intrusive porphyries in the Star Mountains of Papua New Guinea and Irian Jaya[J]. *Economic Geology*, 1975, 70: 928–936.
- [16]Katchan G. Mineralogy and geochemistry of the Ertzberg (Gunung Bijih) and Ertzberg East (Gunung Bijir Timur) skarns, Irian Jaya Indonesia and the Ok Tedi skarns, PNG[D]. Sydney: University of Sydney, 1982.
- [17]Duncan I. Skarn genesis at the Ok Tedi porphyry copper deposit and the stability relations of aluminous calc–silicates[D]. Sydney: Macquarie University, 1972.
- [18]Rose A W. Zonal relations of wallrock alteration and sulfide distribution at porphyry copper deposits[J]. *Economic Geology*, 1970, 63: 920–936.
- ①James W Hendry, Luke Evans, Gerd Wiatzka. Technical report on the Ok Tedi Mining Limited Mt.Fubilan copper–gold mine mineral resource and mineral reserve estimates, Papua New Guinea[R]. Roscoe Postle Associates Inc (RPA), 2005.