

纳米比亚 Okahandja 铜多金属矿床地质特征及成因分析探讨

刘 柯

中冶武勘工程技术有限公司 湖北武汉 430080

摘 要: 纳米比亚 Okahandja 铜多金属矿区位于达马拉造山带的中央带,属于西南非洲铜多金属成矿带的一部分。研究区位于达马拉造山带的南中部带中,矿区内主要金属矿种为铜和锌,伴生金属为金和银。矿床主要赋矿岩石为黑云斜长片麻岩、花岗斑岩和花岗闪长岩,矿体呈似层状、透镜状产出。矿石构造以浸染状为主,富矿部位近块状,其次为星点状。矿体内主要蚀变有绢云母化、硅化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化和孔雀石化。通过研究认为,区内成矿作用受到造山后期碰撞—挤压构造影响,成矿物质活化,成矿物质随岩浆热液迁移,并在构造有利部位富集成矿。

关键词: 铜多金属矿;地质特征;矿床成因;纳米比亚;Okahandja

引言

纳米比亚处在非洲西南,邻国依次有南非、赞比亚、安哥拉、博茨瓦纳,位于大西洋东侧。纳米比亚矿产资源十分丰富,有“世界战略金属库”的美称。Okahandja 铜多金属矿床位于纳米比亚奥卡汉贾(Okahandja)西南方向约 30 km,位于纳米比亚新元古代达马拉铜—金—钼多金属三级成矿带中(王丽瑛等,2015),整个成矿带上以白岗岩型铀矿闻名世界,此外还发育多个铜多金属矿床。

2024 年,中冶武勘工程技术有限公司在该矿区进行了一系列的地质勘查工作,积累了详实的第一手原始资料,以外业勘查工作为基础,通过综合对比研究,基本查明了 Okahandja 铜多金属矿区的矿地质背景、矿区地质,利用工程控制节本查明了矿床特征,总结区内找矿标志,梳理成矿规律,探索矿床成因,为后续在区域上开展矿产勘查工作提供有益参考。

1 区域地质背景

纳米比亚共划分为三个大地构造单元,刚果克拉通(Congo Craton)位于北部,喀拉哈里克拉通(Kalahari Craton)分布在东南部,达马拉造山带(Damara Belt)涉及中部及西侧广大区域。达马拉造山带南北宽约 400Km,该造山带由北及南划分为北部地体、北带边缘、北部带、中央带、南部带、南带边缘及南部前陆 7 个部分(孙宏伟等,2023),中央带则进一步划分为北中央带和南中央带,本次工作的矿区位于达马拉造山带的南中央带中(图 1)。

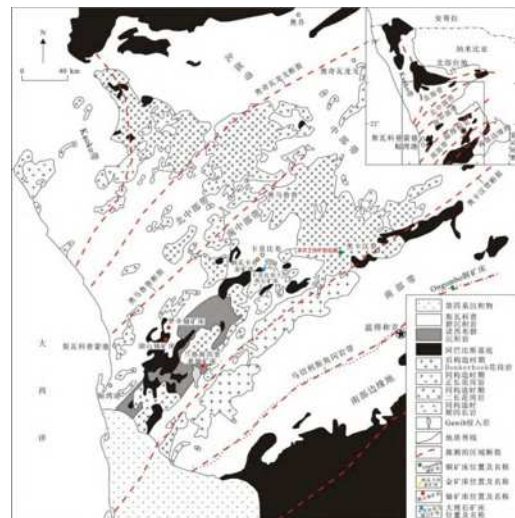


图 1 纳米比亚达马拉造山带地质特征图(据宁福俊等,2018 修改)

1.1 地层

该造山带中主要的岩石基底为古元古代阿巴比斯(Abbabis)变质杂岩,由不同程度的变质沉积岩、正片麻岩、负片麻岩、伟晶岩和花岗闪长岩组成。区域内地层主要由早期的 Nosib 群和晚期的 Swakop 群组成, Nosib 群不整合于 Abbabis 基底杂岩体之上。Nosib 群自下而上分为 Etusis 组和 Khan 组,主要岩性分别为石英岩、长石砂岩和泥岩、钙质泥岩。Swakop 群自下而上分为大理岩、砂砾岩为主的 Rossing 组、Chuos 组、Karibib 组和 Kuiseb 组。

1.2 岩浆岩

达马拉造山带内岩体划可分为 5 个侵入序列(赵希刚等,2015;刘晨阳,2016),分别为 Trakkopje 序列(601 ± 79

Ma)、Hakskeen 序列(516 ± 23 Ma)、Gawib 序列($500 \sim 490$ Ma)、Donkerhuk 序列(458 ± 25 Ma)和 Rossing 序列($542 \sim 468$ Ma)。该造山带内岩浆活动活跃,出露面积较大,以花岗岩为主。

1.3 变质作用及构造

达马拉造山带内遭受的变质作用程度不一,高温-低压变质活动是其主要特征,变质强度由西向东逐渐减弱,角闪岩相较为普遍(孙宏伟等,2023; Stefan Jung 等,2018)。多期次的褶皱、断裂、韧性剪切带及穹窿构造叠加发育,构成现今复杂构造格局。

2 矿区地质特征

矿区内第四系覆盖较严重,岩石露头出露较少。出露的岩石主要为 Nosib 群和 Swakop 群地层及大量的同碰撞和碰撞后花岗岩,还有少量的花岗闪长岩、基性岩墙和伟晶岩脉(图2)。矿区内构造系统较为发育,构造主线为近南-北向,区内主要发育一条近南北向的主要断层,发育多个次级断裂构造。

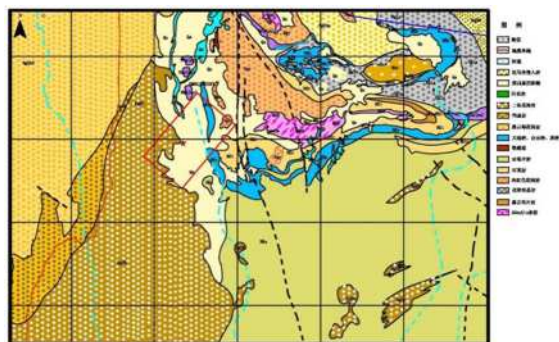


图2 矿区地质简图

2.1 地层

Nosib 群主要分布于矿区东部。区内出露主要为 Nosib 群的 Etusis 组,主要由变质的长石石英砂岩组成,为河流相沉积,中间夹有变质火山岩夹层,被后期的多期花岗岩侵入。Swakop 群主要分布于矿区的东部,主要出露 Kuiseb 组堇青石-辉石花岗变粒岩。

2.2 岩浆岩

区内出露的岩浆岩类型主要有花岗斑岩、花岗闪长岩、黑云斜长片麻岩、黑云母花岗岩、二长花岗岩,除此之外还有后期的基性岩墙和伟晶岩脉。其中,花岗斑岩、花岗闪长岩、黑云斜长片麻岩是主要的赋矿岩石,在二长花岗岩、黑

云母花岗岩中也可见零星黄铁矿化。

花岗斑岩:矿物主要由斜长石(约50%)、石英(约40%)构成,含有少量黑云母(约10%),次生矿物包括绿泥石、绢云母、碳酸盐、高岭石,可见较大的长石斑晶,金属矿物呈浸染状分布在长石周围。

花岗闪长岩:矿物组成为角闪石、石英和长石。含有少量黑云母微量白云母,次生矿物包括绿泥石、碳酸盐、高岭石和绢云母。

黑云斜长片麻岩:矿物组成为斜长石、石英、黑云母,其中黑云母具有明显的定向性,呈断续定向排列,分布在长石石英矿物颗粒之间,同时还有绿泥石、绢云母和高岭石等次生矿物。

二长花岗岩:矿物主要为石英(约30%)、碱性长石(约36%)和斜长石(约28%)构成,还含有少量云母(白云母约5%,黑云母约1%),副矿物主要为锆石和磷灰石,同时还有碳酸盐矿物、绿泥石、绢云母和高岭石等次生矿物。

黑云母花岗岩:矿物主要由角闪石/石榴子石假晶(约25%)、石英(约25%)、蚀变长石(约10%),以及黑云母(约25%)、碳酸盐矿物(约5%)和微量白云母组成,次生矿物为绿泥石、碳酸盐矿物、高岭石和绢云母。

2.3 矿石特征

矿区内含矿岩石中发育的矿化有:黄铜矿化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、磁铁矿化、闪锌矿化,其中以黄铜矿化与黄铁矿化为主。黄铜矿主要呈现浸染状星点状、块状及少量赋存于磁黄铁矿和闪锌矿内,也有离散的颗粒赋存于石英、斜长石、黑云母等矿物间隙中。孔雀石呈绿色,它形粒状结构,纤维皮壳状、薄膜状,集合体常呈球粒状,主要分布在黑云斜长片麻岩的片麻理中。闪锌矿是重要的伴生矿物,闪锌矿主要呈现半自形-他形粒状充填于其他矿石矿物如黄铁矿、黄铜矿之间,部分颗粒存在于磁黄铁矿和黄铜矿内(图4)。

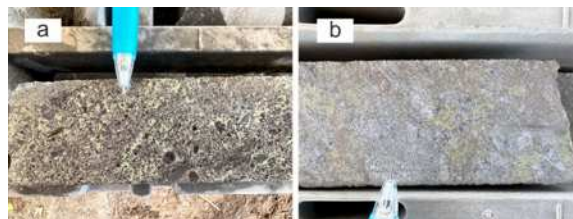


图3 黄铜矿在矿石中呈现 a: 团块状, b: 浸染状构造分布

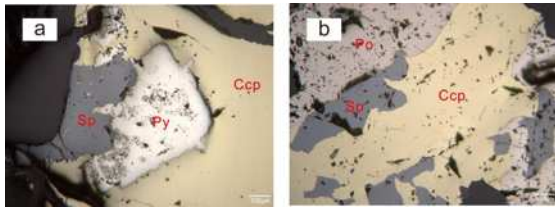


图 4 a: 闪锌矿呈现半自形—他形粒状充填于其他矿物之间; b: 闪锌矿交代黄铜矿

2.4 围岩蚀变

矿区内的含矿岩石中发育的蚀变有: 绢云母化、硅化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化、孔雀石化等 (图 5)。其中绿泥石化、孔雀石化与铜成矿作用关系较为密切。

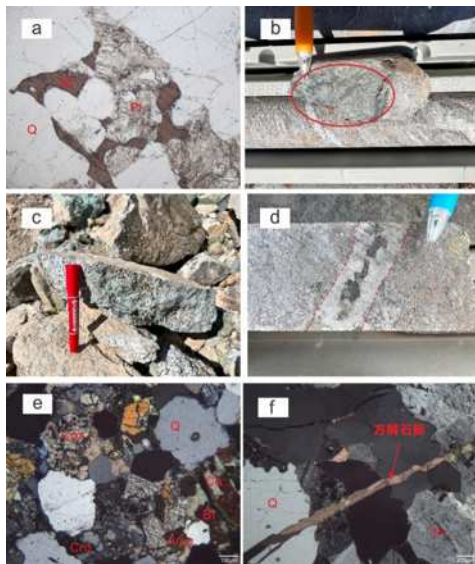


图 5 矿区主要蚀变类型 a: 绢云母化 b: 绿泥石化 c: 孔雀石化; d: 硅化; e: 面状方解石化 f: 脉状方解石化

3 矿床成因及成矿规律

本区在地表上多见受到热液改造的黑云斜长片麻岩、花岗闪长岩, 表现为巨大的、密集的黑云母集合体, 绿泥石化、绢云母化等蚀变作用发育较强, 表明矿体的行成与热液活动息息相关。

在达马拉造山带中矿点分布众多, 其中和热液活动密切相关的矿床主要有两种类型, 第一类为与中酸性侵入岩密切相关的斑岩型铜、钼矿, 如海伯 (Haib) 斑岩型铜钼矿和罗雷 (Lorelei) 斑岩型铜矿等 (刘晓阳等, 2015); 第二类为与 Rehoboth 岩系中的 Elim 组有关的变质热液型铜、铜锌和铜银矿, 如 KleinAub 银矿、Swartmodder 铜矿等 (居维伟等, 2020; 肖娥等, 2022)。

表 1 列出了岩浆热液成因矿床和变质热液成因矿床在成矿背景、成因机制、地质特征、围岩蚀变、矿物组合和化学成分、流体特征、矿体形态和成矿年代的特征。

矿床类型岩浆热液成因矿床变质热液成因矿床

成矿背景与岩浆活动密切相关, 尤其是中酸性到酸性的岩浆岩, 成矿作用通常发生在岩浆岩侵入体附近或其与围岩的接触带通常与区域变质作用或混合岩化作用有关。成矿作用往往发生在封闭或半封闭的地质环境中, 压力较大, 温度适中

成因机制主要是由岩浆在冷却结晶过程中释放出来的含矿热液, 在适当的构造和围岩条件下, 通过充填和交代作用形成的。这些热液通常富含金属元素, 如铜、铅、锌、金、银等, 它们在热液中呈溶解状态, 随着热液的迁移和沉淀而富集成矿主要是由岩石在变质作用过程中释放出来的热液, 或者由岩浆热液与变质岩相互作用形成的。这些热液通常含有在变质作用中活化的金属元素, 它们在热液中迁移并在有利的构造部位沉淀成矿。

地质特征通常与岩浆岩有密切的空间和时间关系, 矿体常产于岩浆岩体内或其附近的围岩中, 且常伴随有围岩蚀变现象, 如钾化、钠化、硅化等通常产于变质岩区, 与变质作用有密切的空间关系。矿体形态也多样, 但往往受变质作用和构造作用的共同控制。围岩蚀变现象通常较岩浆热液成因矿床弱, 但也可能出现特定的蚀变类型, 如绢云母化、绿泥石化等

矿物组合和化学成分矿物组合复杂多样, 常含有高温矿物组合, 如黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等。化学成分以金属元素为主, 常含有多种金属硫化物矿物组合相对简单, 常含有中低温矿物组合, 如石英、绢云母、绿泥石等, 以及特定的金属矿物, 如磁铁矿、赤铁矿等。化学成分以金属元素和硅酸盐矿物为主, 金属元素含量相对较低, 但可能富含某种特定的金属元素

流体特征高盐度, CO_2 含量变化大。含有较高的金属元素浓度, 如 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等。流体包裹体常含有子矿物, 如石英、黄铁矿等。低盐度, 但富含 CO_2 等挥发性组分。阳离子以 K、Na、Ca、Mg 等为主, 金属元素含量相对较低。流体包裹体类型多样, 但通常不含或仅含少量子矿物

矿体形态矿体形态多样, 常呈脉状、网脉状、串珠状、囊状等不规则形态矿体形态受构造控制明显, 但也可能呈层

表 1 岩浆热液成因矿床和变质热液成因矿床特征对比表

矿床类型	岩浆热液成因矿床	变质热液成因矿床
成矿背景	与岩浆活动密切相关，尤其是中酸性到酸性的岩浆岩，成矿作用通常发生在岩浆岩侵入体附近或其与围岩的接触带	通常与区域变质作用或混合岩化作用有关。成矿作用往往发生在封闭或半封闭的地质环境中，压力较大，温度适中
成因机制	主要是由岩浆在冷却结晶过程中释放出来的含矿热液，在适当的构造和围岩条件下，通过充填和交代作用形成的。这些热液通常富含金属元素，如铜、铅、锌、金、银等，它们在热液中呈溶解状态，随着热液的迁移和沉淀而富集成矿	主要是由岩石在变质作用过程中释放出来的热液，或者由岩浆热液与变质岩相互作用形成的。这些热液通常含有在变质作用中活化的金属元素，它们在热液中迁移并在有利的构造部位沉淀成矿。
地质特征	通常与岩浆岩有密切的空间和时间关系，矿体常产于岩浆岩体内或其附近的围岩中，且常伴随有围岩蚀变现象，如钾化、钠化、硅化等	通常产于变质岩区，与变质作用有密切的空间关系。矿体形态也多样，但往往受变质作用和构造作用的共同控制。围岩蚀变现象通常较岩浆热液成因矿床弱，但也可能出现特定的蚀变类型，如绢云母化、绿泥石化等
矿物组合和化学成分	矿物组合复杂多样，常含有高温矿物组合，如黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等。化学成分以金属元素为主，常含有多种金属硫化物	矿物组合相对简单，常含有中低温矿物组合，如石英、绢云母、绿泥石等，以及特定的金属矿物，如磁铁矿、赤铁矿等。化学成分以金属元素和硅酸盐矿物为主，金属元素含量相对较低，但可能富含某种特定的金属元素
流体特征	高盐度，CO ₂ 含量变化大。含有较高的金属元素浓度，如 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等。流体包裹体常含有子矿物，如石英、黄铁矿等。	低盐度，但富含 CO ₂ 等挥发性组分。阳离子以 K、Na、Ca、Mg 等为主，金属元素含量相对较低。流体包裹体类型多样，但通常不含或仅含少量子矿物
矿体形态	矿体形态多样，常呈脉状、网脉状、串珠状、囊状等不规则形态	矿体形态受构造控制明显，但也可能呈层状、似层状等
成矿年代	岩浆热液成矿年代通常晚于岩浆作用的时代	蚀变矿物的形成时代和矿体的形成时代与区域变质作用的时代基本一致或稍晚

结合矿体形态、矿石结构构造、围岩蚀变及成矿年代，综合区域资料，我们认为区内矿床成因应属于岩浆热液型硫化物矿床。

[1]居维伟,肖娥,陶培奋,等.纳米比亚 Rehoboth 铜多金属矿床地质特征及成因分析探讨[J].世界有色金属,2020,(22):99-100.

[3] 刘晨阳. 纳米比亚湖山铀矿矿床地质特征及成因探讨[D]. 成都理工大学, 2016.

[4] 刘晓阳, 龚鹏辉, 刘宇, 等. 纳米比亚西南部斑岩型铜矿地质特征[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(S1): 104-111.

[5] 宁福俊,王杰,任军平,等. 纳米比亚达马拉构造带演化和成矿研究综述 [J]. 地质调查与研究, 2018, 41(02): 113-120.

[6] 孙宏伟,任军平,唐文龙,等. 纳米比亚达马拉造山带地质、构造演化特征与铀成矿作用[J]. 西北地质, 2023, 56(05): 35-48.

[7] 王丽瑛,董卫宏,屠立鹏,等.中南部非洲纳米比亚三级成矿区带划分[J].地质找矿论丛,2015,30(S1):53-59.

[8] 肖娥,居维伟,陶培奋,等.纳米比亚 Kobos 区铜多金属矿床地质特征及成矿机制探讨[J].新疆有色金属,2022,45(01):81-85.DOI:10.16206/j.cnki.65-1136/tg.2022.01.029.

[9] 赵希刚,朱西养,杨永记,等.纳米比亚达马拉造山带白岗岩型铀矿成矿规律及找矿思路[J].铀矿地质,2015,31(04):445-452.

[10] Jung S, Brandt S, Bast R, et al. Metamorphic petrology of a high - T / low - P granulite terrane (Damara belt, Namibia) - Constraints from pseudosection modelling and high - precision

Lu - Hf garnet - whole rock dating[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2019, 37(1): 41-69.

[11] Longridge L, Gibson R, Kinnaird J, et al. New constraints on the age and conditions of LPHT metamorphism in the southwestern Central Zone of the Damara Belt, Namibia and implications for tectonic setting[J]. LITHOS, 2017, 278-281: 361-382.

作者简介: 刘柯(1991—), 男, 汉族, 硕士研究生, 固体矿产勘查方向。