

澳大利亚布罗肯希尔(Broken Hill)铅锌银矿床*

康 欢, 江思宏**

(中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

从全球范围来看, 铅锌矿床的最主要类型是 SEDEX 型和 MVT 型。而 SEDEX 型铅锌矿床以单个矿床储量巨大、品位高为特征, 位于澳大利亚新南威尔士州西北部的布罗肯希尔(Broken Hill)铅锌银矿床就是一个典型实例。它是世界上最大的铅锌银矿床之一, 矿石储量 2.8 亿吨, 矿石品位: $w(\text{Pb})$ 为 10%; $w(\text{Zn})$ 为 8.5%; $w(\text{Ag})$ 为 148 g/t (Walters, 1996), 自 1883 年发现以来, 已开采矿石约 2 亿吨。

1 成矿环境

布罗肯希尔铅锌银矿床在大地构造位置上处于南澳克拉通东部元古宙柯纳莫纳(Curnamona)省东南缘的布罗肯希尔地块(图 1a), 该地块主要由古元古代—中元古代变质沉积岩和变质火成岩组成 (Massimo et al., 2015), 出露的地层主要是威利雅马超群(Willyama Supergroup), 厚度 7~11 km, 原岩由泥质岩、砂屑泥质岩、砂屑岩、长英质和基性火山岩以及热水沉积岩组成, 与上覆的阿德雷德系浅海相沉积物呈不整合接触。威利雅马超群从下到上可划分为 4 个群, 分别是塔卡林加(Thackaaringa)群、布罗肯希尔群、孙当(Sundown)群和帕拉根(Paragon)群。威利雅马超群的长英质变质火山岩形成于 1730~1690 Ma, 并在 1600 Ma 经历了高级区域变质作用。由北向南, 区域变质作用由绿片岩相变为麻粒岩相, 表明变质程度逐渐增强。这次高级区域变质作用至少伴随了两期区域变形, 并在退变质过程中发生了第三期变形作用(约 1580 Ma)。

在布罗肯希尔地块地质演化的早期阶段(1720

~1685 Ma), 发育在一个弧后盆地中的硅铝层裂谷向下逐渐加深, 并在 1685 Ma 达到最大程度的岩石圈伸展 (Massimo et al., 2015)。在奥拉里安(Olarian)造山运动(1600~1580 Ma)期间, 布罗肯希尔地块的岩石发生了高角闪岩相-麻粒岩相变质作用。区域上, 从西北的含红柱石的角闪岩相到东南的二辉岩麻粒岩相, 变质程度逐渐增强。随后, 在 De-lamerian 造山运动(520~490 Ma)期间再次发生了绿片岩和角闪岩相变质作用。

在布罗肯希尔地块的威利雅马超群里产有 Pb、Ag、Zn、W、Cu、Co 和 Sn 等矿床, 矿床类型主要有: 层状矿床、层控矿床、脉状矿床和与侵入活动有关的矿床。其中, 世界著名的布罗肯希尔巨型铅锌银矿床就产在威利雅马超群里的布罗肯希尔群地层中。

2 矿床地质

布罗肯希尔铅锌银矿床的原生矿石产在巨厚的铁帽之下, 氧化深度达 100 m 左右。赋矿围岩是布罗肯希尔群的泥质和砂屑泥质变质沉积岩, 是一套类似砂卡岩的富含 Ca-Mn-Fe-P-F 的岩石组合, 位于威利雅马超群上段与下段的过渡部位。层状矿化是威利雅马超群层序的原始组成部分, 通常是由喷气岩或其他化学沉积岩经变质形成的硅质层, 主要具有如下地质特征: ① 围岩主要是层状变质沉积岩或者具有层理的片麻岩; ② 呈板状或透镜状, 厚度不大但是在走向方向延伸很远, 并且大多数已发生褶皱变形; ③ 绝大多数与围岩地层呈整合接触关系; ④ 内部分层很常见, 并且和矿化边界平行; ⑤ 矿床

* 本文得到中国地质大调查项目(编号: 1212011120325)资助

第一作者简介 康 欢, 男, 1988 年生, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: 181kanghuan@163.com

** 通讯作者 江思宏, 男, 1968 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事金属矿床成矿规律研究。Email: jiangsihong1@163.com

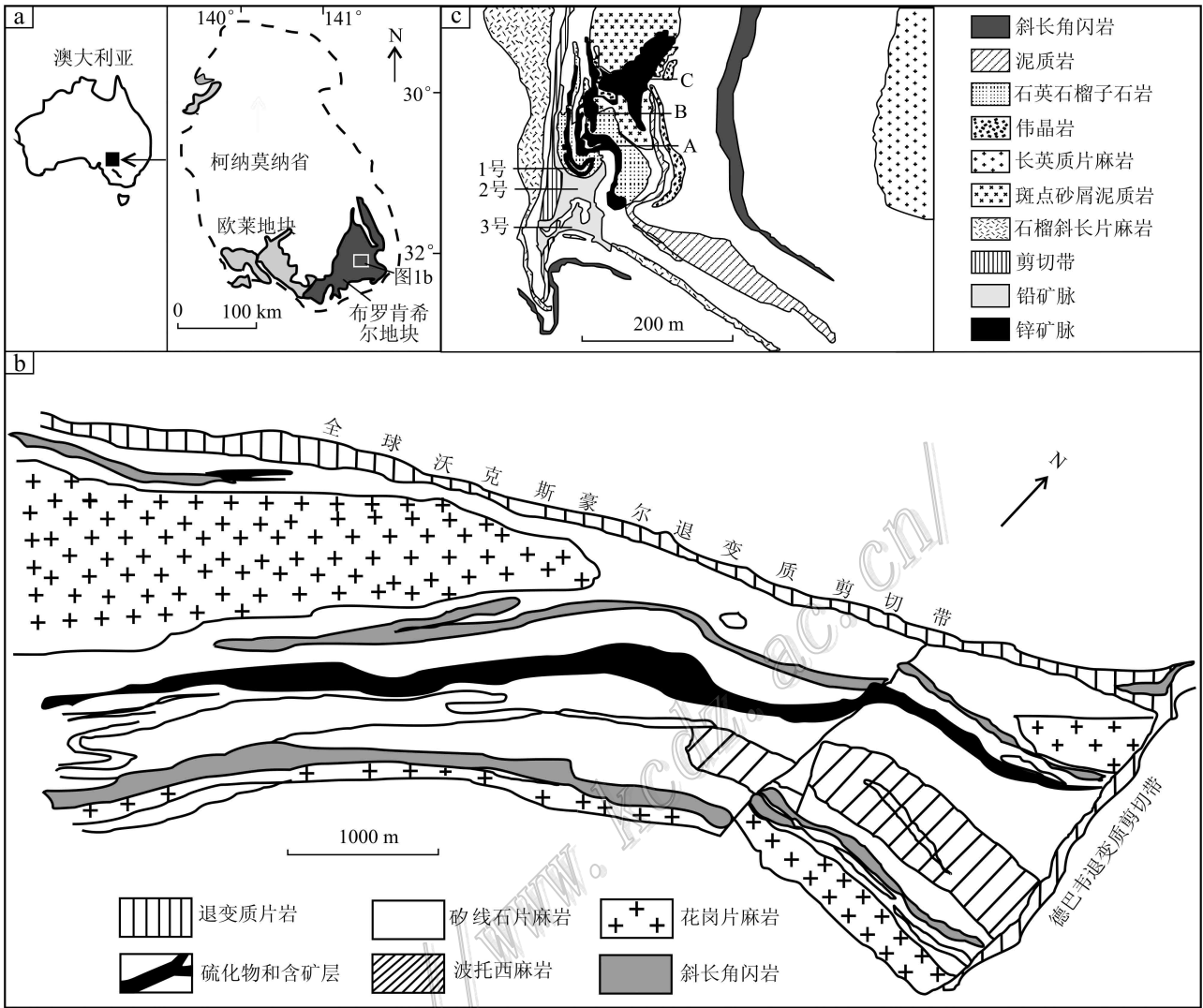


图 1 布罗肯希尔铅锌银矿床区域位置图(a)、地质简图(b)和剖面图(c)(据 Spry et al. , 2008; Massimo et al. , 2015)

图 1c 中: A~C 为矿脉; 1~3 为透镜体

都经受了高级变质作用,表现出粒状多边形结构;

⑥ 矿化性质和其层位密切相关(Barnes, 1987)。

矿床由一系列金属硫化物含量不同的岩石组成(图 1b)。其中,由块状硫化物构成的主矿脉沿走向长 8.5 km,延深超过 1000 m,宽 250 m,由 6 个矿体组成,而那些规模较小的硫化物矿体断续延伸可长达 25 km。这 6 个主矿体分别被称为 1 号、2 号和 3 号透镜体和 A、B、C 矿脉(图 1c),其中 2 号和 3 号透镜体规模最大,沿走向延伸达 6 km。矿脉整体走向 NNE,向 NW 陡倾,从剖面上看是一个巨大的拖褶皱(图 1c),每个矿体的成矿元素和主要微量元素含量都不尽相同(表 1),其中 2 号和 3 号透镜体以铅、银为主,而 1 号透镜体和 A、B 矿脉则以锌为主。

矿体中的主要脉石矿物为石榴子石、蔷薇辉石、萤石、石英、锰质钙铁辉石、方解石和硅灰石,主要矿石矿物为闪锌矿和方铅矿,还有少量的黄铜矿、磁黄铁矿、黝铜矿、斜方砷铁矿、毒砂和各种硫盐。硫化物和硫盐的含量在矿体内部和不同矿体之间的变化都非常大。总体上,黄铁矿含量很少。银主要赋存于方铅矿当中,但是在不同矿体当中的 Pb、Ag 比例不同。同时,银也会赋存在黝铜矿、硫锑银矿、硫锑铜银矿、脆银矿、辉银矿、六方锑银矿、锑银矿和自然银当中。另外,退变质作用、再活化作用和矿石的自然冷却都会导致各式各样新的硫化物和硫盐的形成,例如:硫锑铁矿、车轮矿、脆银矿、辉锑矿、辉银矿、硫锑铜银矿和硫锑银矿。在剪切带和断层带中

表 1 布罗肯希尔矿体成矿元素含量(引自 Spry et al. , 2008)

矿脉	矿石量/Mt	$\mu(B)\%$			$\mu(B)10^{-6}$					
		Pb	Zn	P	Ag	Cu	As	Sb	Bi	Co
C	11	3	5	—	20	—	—	—	—	—
B	46	5	17	0.18	40	2000	450	113	37	79
A	53	4	10	0.11	40	1200	1440	67	48	120
1	10	8	20	0.08	50	900	210	372	28	140
2	85	14	11	0.04	100	1400	560	413	10	83
Σ(南)	79	11	15	0.09	200	1400	3985	418	2	68
Σ(北)	—	15	13	—	300	—	—	—	—	—

注：“—”表示无资料。

出现的红银矿和富银的方铅矿就证明了这些矿物形成于退变质作用阶段(Spry et al. , 2008)。

矿体内的金属具有一定的分带特征,每个矿体都是在最底部相对富集 Zn 和 Cu,贫 Pb 和 Ag,在走向上也具有类似规律。

在布罗肯希尔铅锌银矿床,其中一个重要特点就是发育了大量的喷气岩(exhalite)。这些喷气岩既可以在矿体及其两侧产出,也可以独立产出。喷气岩的主要类型有:① 石英石榴子石岩;② 石榴子石质砂岩或石榴子石岩(石榴子石含量大于 80%);③ 条带状发育-不太发育的含石英±铁氧化物±石榴子石±磷灰石的岩石,局部被称为条带状铁建造。当缺失石榴子石和磷灰石时称为石英-磁铁矿岩;④ 富含电气石的石英-锌尖晶石质岩石(Massimo et al. , 2015)。石英石榴子石岩通常会以夹层状或块状靠近或产在所有的硫化物矿体内;石榴子石岩主要出现在 2 号、3 号透镜体和 A 矿脉的边缘,也会呈香肠状产在矿体内;石榴子石晕(garnet envelop)主要出现在铅矿脉的边缘。

3 成矿作用

布罗肯希尔铅锌银矿床的成因一直备受争议,特别是该矿床到底是形成于高级变质作用之前、之后,还是高级变质作用的同期产物。其中有 3 个成矿模型最为流行:① 由裂谷环境中的水下热液活动形成的同沉积矿床,在奥拉里安造山运动期间(1600~1580 Ma)又经历了多相高级变形变质作用(Parr et al. , 1993 ; Spry et al. , 2007);② 在变质作用峰期或者是构造后的交代作用期间形成的同构造期金属矿床(Gibson et al. , 2004);③ 含硫化物的岩石最初与地层呈整合产出,后来经历了多相高级变质作用,并在变质作用期间发生了硫化物的熔

融,从而形成矿床(Spry et al. , 2008)。

Barnes(1987)认为布罗肯希尔铅锌银矿床的形成经历了 4 个阶段:① 贱金属与威利雅马超群的沉积岩和火山岩一起沉积,形成了原始矿源层;② 原始层状矿化在变质和变形作用期间会发生不同程度的活化,在某些地方形成层控矿床;③ 在布罗肯希尔地块内部生成的岩浆流体,在某些情况下也会从周围地层中萃取一些金属;④ 在布罗肯希尔地区地质演化的晚期,热液活动从围岩和已经形成的矿床中把金属淋滤出来,并再次沉淀成矿。

近年来,越来越多的学者认为该矿床属于沉积成因,矿脉是火山-沉积地层中的层状铅锌矿体经过高级变质作用形成的,并认为该矿床是第一期构造运动(1690~1680 Ma)期间形成的同沉积铅锌矿床,后来又经历了两期高级变质作用。虽然后期构造活化使得矿脉发生了位移,但是 Page 等(2005)通过对方铅矿中 Pb 同位素的研究,认为布罗肯希尔矿体的原始矿石形成于约 1690 Ma,与布罗肯希尔群中岩石的锆石年龄一致,因此该矿床属于同生成因。Massimo 等(2015)通过对威利雅马超群中含有长英质和碎屑泥质变质沉积岩的微量元素地球化学研究,认为布罗肯希尔矿床是在克拉通内的裂谷环境下的热液活动中形成的,和盆地演化期间在布罗肯希尔地块发生的 1685 Ma 双峰式岩浆活动时代基本相同,同时也和矿体的 Pb 模式年龄相吻合。而是否有足够的金属来源形成布罗肯希尔这样巨型的铅锌银矿床仍然是一个有争议的问题,在同生沉积模型中,金属硫化物是来源于威利雅马超群岩石,还是来源于地幔仍然备受争议。Massimo 等(2015)通过对 Pb 同位素的研究指出,该矿床中的 Pb 和其他金属都来源于威利雅马超群变质沉积岩,是通过热液淋滤作用形成的,与地幔没有关系。

4 初步结论

布罗肯希尔铅锌银矿床是一个产于高级变质岩里的 SEDEX 型矿床,早期形成于克拉通内裂谷环境,是热液活动形成的同生沉积矿床,后期又经历了两期构造运动,发生了多相高级变质作用,其成矿物质来源于威利雅马超群。

References

- Barnes R G. 1987. Multi-stage age mobilization and remobilization of mineralization in the Broken Hill Block, Australia[J]. Ore Geology Reviews, 2 : 247-267.
- Gibson G M and Nutman A P. 2004. Detachment faulting and bimodal magmatism in the Palaeoproterozoic Willyama Supergroup, south-central Australia: Keys to recognition of a multiply deformed Precambrian metamorphic core complex[J]. Journal of the Geological Society, 161 : 55-66.
- Massimo R, David G, John F, Sebastien M, Ian N and Mike R. 2015. Lead and Nd isotopic evidence for a crustal Pb source of the giant Broken Hill Pb-Zn-Ag deposit, New South Wales, Australia[J]. Ore Geology Reviews, 65 : 228-244.
- Page R W, Stevens B P and Gibson G M. 2005. Geochronology of the sequence hosting the Broken Hill Pb-Zn-Ag orebody, Australia[J]. Econ. Geol., 100 : 633-661.
- Parr J M and Plimer I R. 1993. Models for Broken Hill type lead-zinc-silver deposits[A]. In : Kirkham R V, eds. Mineral Deposit Modelling : Geological Society of Canada, Special Paper[C]. 253-288.
- Spry P G, Heimann A, Messerly J and Houk R S. 2007. Discrimination of metamorphic and metasomatic processes at the Broken Hill Pb-Zn-Ag deposit, Australia : Rare earth element signatures of garnet-rich rock[J]. Econ. Geol., 102 : 471-494.
- Spry P G, Plimer I R and Teale G S. 2008. Did the giant Broken Hill (Australia) Zn-Pb-Ag deposit melt[J]?. Ore Geology Reviews, 34 : 223-241.
- Walters S J. 1996. An overview of Broken Hill type deposits[A]. In : Pongratz J, eds. New developments in Broken Hill type deposits special publication[C]. CODES (University of Tasmania), 1 : 1-10.