

金属矿床地质与勘查译丛

第12辑

沉积岩容矿喷气—沉积型铅锌矿床



中国有色金属工业总公司矿产地质研究院

桂林·1987

PDG

前 言

沉积岩容矿喷气—沉积型铅锌矿床具有规模大、品位高的特点，其保有储量占现有世界铅锌探明储量的1/3以上，是世界上铅锌金属最重要的来源之一。自70年代以来随着勘探和研究工作的进展，在加拿大塞尔温盆地、美国阿拉斯加、爱尔兰和南非等地相继发现了相当数量的工业矿床，引起了地质学家的广泛注意。为了向同行系统地介绍这方面的进展，以开阔我们的思路，这里特收集有关论文13篇，约25万字，汇编成本译文集。

本文集共分三个部分。第一部分：矿床地质。较全面地介绍了世界上主要沉积岩容矿喷气—沉积型铅锌矿床的分布、区域地质背景、矿床地质特征和矿床成因；较系统地介绍了加拿大沙利文、加塔加地区、锡尔奎；爱尔兰锡尔弗迈因斯、纳文，西德麦根，南非甘斯堡矿床实例。第二部分：成矿作用和成矿模式。在大量实际资料的基础上详尽地探讨了各种物理化学因素在成矿中的作用；探讨了流体产生、运移和沉积成矿机制；还介绍了海底喷气热卤水成矿模式。第三部分：地球物理勘查实例。介绍了爱尔兰、芒特艾萨地区运用地球物理方法为矿区提供了地质、构造方面的有用信息。

本文集由情报室沃杏宝主编，参加工作的人员还有荣高瑛。李志锋同志对译稿作了全面审核。

由于水平有限，错误之处敬请读者批评指正。

编者

1987.5

目 录

矿床地质

1. 沉积岩容矿的层状铅-锌-银矿床..... 1
2. 加拿大不列颠哥伦比亚金伯利沙利文矿床地质..... 21
3. 不列颠哥伦比亚东北部加塔加地区的地质及层状重晶石-硫化物矿床..... 47
4. 不列颠哥伦比亚东北部锡尔奎重晶石-锌-铅矿床..... 59
5. 爱尔兰锡尔弗迈因斯矿床构造和古地形对铅-锌矿化的控制作用..... 70
6. 爱尔兰纳文矿床的区域背景、地质和金属分布型式..... 88
7. 麦根矿床地质..... 109
8. 南非甘斯堡矿床矿物化学及成因..... 134
9. 层状铅-锌矿床的变形..... 155

成矿作用及成矿模式

10. 海底喷气矿床形成的物理和化学控制因素及其对确立勘查模式的意义——一篇论评..... 169
11. 控制沉积岩容矿的层状铅-锌矿床物质来源和沉积作用的化学参数..... 190

地球物理勘查实例

12. 用现代直升飞机地球物理方法勘探爱尔兰铅-锌矿的试验..... 231
13. 澳大利亚芒特艾萨区重磁测量结果..... 240

沉积岩容矿的层状铅—锌—银矿床

Clyde L. Smith (加拿大)

前 言

沉积岩容矿的层状铅—锌—银矿床是目前世界上铅锌生产矿山和后备矿山中的一个最重要的地质类型,其中有一些还是世界闻名的矿床(表1)。尽管多年来对某些矿床做了大量的地质调查并积累了大量文献资料,由于容矿岩性多种多样,结构和构造复杂多变,以及后来的变质作用的结果,给矿床分类和成因解释带来了争端。事实上,最近有一些总结性的文章极力主张同时采用描述性和成因的矿床分类方案。矿床分类方面的重大争论常常集中在这类矿床的某些矿床到底是同生(与沉积同时)成矿的,还是成岩(与成岩同时)成矿的,或是后生(成岩后)成矿的。

表1列出了大部分重要的沉积岩容矿的层状铅—锌—银矿床,可简称为层状矿床。某些矿床由于地质认识不够,或缺少公开发表的地质研究文章,或因作者不够熟悉而未列入表内。大多数矿床分布于北美西部(最近在那里发现了不少矿床)、欧洲西部和澳大利亚东部。

尽管腊梅尔斯堡200多年前就开始了科学研究,但布罗肯希尔层状矿床的首次现代地质调查却始于1951年。当时岩浆—热液交代理论盛行,但为了建立适用于布罗肯希尔的有效勘探模式,地质工作者作了深入调查,他们很快就发现该矿床是同生的,而且产在独特的沉积环境中。接着,通过与芒特艾萨的地层层位的对比研究,促成了1955年麦克阿瑟河矿床的发现。麦克阿瑟河缺失深成火成岩和变质岩,而且矿石具“沉积”特征,这些地质现象给澳大利亚层状矿床的同生成因提供了有力证据。尽管到六十年代中期人们还认为沙利文矿床是热液交代矿床,但在六十年初期,一些公司的地质人员就提出该矿床是同生成因的认识。现在沙利文矿床属同生成因层状矿床的观点已为人们所接受。五十年代以前发表的关于德国层状矿床的多数文章推崇后生成矿理论,但当时就有人对腊梅尔斯堡和麦根矿床提出了海底喷气成矿模式,现在这个认识已为人们所接受。

层状矿床的勘查历史反映了接受海底喷气同生成因理论的重要性。这些矿床发现时期按年代可归纳如下:

1. 1880年以前未勘探就已发现的矿床:腊梅尔斯堡(Rammelsberg)、麦根(Meggen)。
2. 1880—1955年通过勘探发现的矿床:布罗肯希尔(Broken Hill)、杜加尔德(Dugald)河、沙利文(Sullivan)、芒特艾萨(Mount Isa)、希尔顿(Hilton)、托姆(Tom)、温戈尔德(Vangorda)。
3. 1955—1975年用普通地质方法加地球化学、地球物理勘探方法发现的矿床:麦克阿瑟河(McArthur River)、锡尔弗迈因斯(Silvermines)及其他爱尔兰的矿床、斯

表 1 主要的沉积岩容矿的层状Pb—Zn—Ag矿床⁽²⁾的储量⁽¹⁾和品位
容矿沉积岩的年代、发现的时间和方法

产出位置和矿床名称	容矿沉积岩的年代	大致的储量 (百万吨)	大致品位		矿床发现的时间和方法
			Pb(%)	Zn(%) Ag(盎司/吨)	
北美洲西部 ⁽³⁾					
阿拉斯加红狗矿床	晚密西西比世	85	5.0	17.0	1975年 勘探
育空贾森—托姆	晚泥盆世	20+	10.0	7.0	1975年地质/地球化学(贾森), 1951, 勘探(托姆)
育空霍华兹山口	早志留世	120	1.5	7.5	1972年 地球化学
育空安维尔地区 ⁽⁴⁾	中寒武世	150	3.0	6.0	1953—1976年勘探/地球化学
不列颠哥伦比亚沙利文矿床	中元古代	170	6.5	5.5	1892年 勘探
欧洲					
爱尔兰锡尔弗迈因斯 ⁽⁵⁾	早石炭世	14	2.4	8.3	1962年 地球化学/地球物理
德国麦根矿床	中泥盆世	50	1.3	10.0	1727年 偶然发现
德国腊梅尔斯堡	中泥盆世	22	10.0	19.0	968年 偶然发现
澳大利亚 ⁽⁶⁾					
北部地区麦克阿瑟河	中元古代	237	4.0	9.5	1955年 地球化学/地球物理
昆士兰芒特艾萨	中元古代	89	7.0	6.5	1923年 勘探
新南威尔士布罗肯希尔	早元古代	180	13.0	11.0	1883年 勘探

注: (1) 保有储量加产出量。(2) 所列矿床不全, 一些变质矿床或认识不够的矿床(如南非的甘斯堡和阿根尼斯)及小矿和低品位矿床未列入表中。(3) 不包括阿拉斯加的德伦奇沃特、不列颠哥伦比亚的加塔加河地区和米德威、爱达荷的特留夫, 这些矿床总储量在5千万吨以上。(4) 包括法罗、温戈尔德、斯维姆、DY、格卢姆。(5) 爱尔兰有几个矿床如蒂纳和纳文等产于层状的地质环境, 但主要为后生矿床, 该矿床总储量达9千万吨以上。(6) 澳大利亚还有一些大型的铅锌矿床, 如希尔顿、莱迪洛雷塔、杜加尔德河、伍德朗等, 总储量在1亿4千万吨以上。

维姆 (Swim)、法罗 (Faro)、莱迪洛雷塔 (Lady Loretta)、霍华兹山口 (Howards Pass)、格卢姆 (Grum)、红狗 (Red Dog) 等。

1. 1975 年至今用先进的地质方法加地球化学和 (或) 地球物理勘探方法发现的矿床: 贾森 (Jason)、加塔加 (Gataga)、米德威 (Midway)、DY 等。

五十年代早期起, 改变了过去对矿床沉积环境的研究方法, 并结合应用新发展起来的地球化学和地球物理技术, 使以后的二十年中相继发现了许多矿床。随后, 澳大利亚和德国的地质学家进一步完善了层状矿床成因的概念, 促成了 1975 年贾森地区层状矿床的发现。后来又应用贾森的模式找到了加塔加河地区和米德威层状矿床。值得一提的是, 地质人员通过在已知矿区内、外的勘查工作大大发展了下述层状矿床模式。近年来在不断趋于完善的地质认识的指导下获得了一些重大的发现, 因此这一模式是可以信赖的。

层状矿床的矿体呈板状或透镜状, 由纹层状、块状的铅、锌、铁、铜和银的硫化物层组成, 伴生的脉石矿物通常有黄铁矿、重晶石、石英、菱铁矿、赤铁矿和白云石。成矿作用可分同生和成岩的两类。通常有多层矿带产出, 并可分布在厚达 1000 米的地层中。矿体形态呈长椭圆形或宽椭圆形, 侧向延伸数倍于厚度, 甚至可达几公里。矿床储量一般超过 1—2 千万吨, 但超过一亿吨以上的不多。Pb+Zn 的品位小于 10—30%, Pb:Zn 的比值不定, 平均为 1:2。Ag 的含量也有变化, Pb:Ag 的比值平均为 2—3:1, 偶而铜亦有工业意义 (如芒特艾萨、腊梅尔斯堡), 此外还有少量的锡 (如沙利文) 和其他金属。一些矿床展示了从矿层底盘向上或成矿通道向外侧的垂直和水平分带。成矿通道相对富银和铜, 并逐渐向铅锌矿体过渡。锌的分散范围较大, 铁、钼、硅可在更外围出现。矿体与地层产状一致, 可产在浅海、深海、湖泊相沉积岩组成的复杂地层中, 且与容矿岩层呈互层状产出。常有含不同量的碳酸盐、碳质、黄铁矿的细碎屑岩、粗碎屑岩 (浊积岩、碎屑岩流、角砾岩) 和少量火山岩 (中性—硅质的凝灰岩) 出现。底板沉积岩可被蚀变并富含硅、铁、镁和其他元素, 可含有次生的硫化物充填脉。这些受蚀变的底盘沉积岩部位原来可能曾经是同沉积断层或生长断层有关的成矿溶液通道。看来这些断层控制了矿床的构造位置, 并形成了有矿床产出的局部沉积盆地。在元古代或古生代内克拉通 (内陆棚) 或被动陆缘环境有一些长期发育的大的沉积盆地, 而层状矿床则显然是在这些沉积盆地中一系列地质作用的结果。在六个重要沉积盆地中, 至少有四个是以基底走向滑断层 (基底断层是指延伸至地壳深部并长期活动的断层) 为边界的盆地。成矿可能与海浸—海退沉积旋回有关, 沉积旋回的高峰期对应的是相对深水沉积, 而矿床则产于大沉积盆地边缘局部受断层控制的盆地中。成矿后依次沉积了碳酸盐或复理式为主的地层, 这些地层均受到了后来的造山形变, 并以具有低级变质作用, 低角度的逆掩断层和敞开或紧闭的褶皱为特征, 并伴随有造山期后的磨拉石沉积。

层状矿床常被认为是铅、锌或贱金属矿床系列中的一种类型。这个系列包括了火山成因块状硫化物矿床 (黑矿、太古代矿床、塞浦路斯型); 砂岩容矿的铅锌矿床 (瑞典莱斯瓦尔和法国拉让蒂埃); 碎屑岩容矿的层状铜矿床 (赞比亚铜带和欧洲的含铜页岩)。

和碳酸盐容矿的铅锌矿床（密西西比河谷、阿尔卑斯型）。虽然沉积岩容矿的层状铅锌银矿床具有其他类型矿床的某些特征，但根据它们的化学成分、构造地层环境和成因等特征可视为独立的一类。上面提到的其他各类可依如下特征明显地与层状矿床区分开来：火山成因块状硫化物矿床基本上是火山岩容矿的铜锌矿床，它与板块边缘的地壳消亡带和增生带的火山作用有关；砂岩型铅锌矿床包括了浸染状的后生矿化，产在与基底地层呈不整合接触的造山期后的砂岩和长石砂岩的较薄层序中；碎屑岩型层状铜矿含有较高的钴，少量或无铅、锌、铁，矿石呈浸染状，产在大面积造山后期台地型或磨拉石型碎屑岩中，并与红层和蒸发岩伴生；碳酸盐岩容矿的铅锌矿床与层状铅—锌矿床关系最密切。事实上，爱尔兰的一些层状矿床已被划归密西西比河谷型，并展示了向层状矿床过渡的结构特征。此外麦克阿瑟河及芒特艾萨碳酸盐岩容矿的通道矿化产在层状矿体旁侧的蚀变碳酸盐岩地层中。然而一般说来，碳酸盐岩容矿铅锌矿床与层状铅—锌—银矿床的区别在于：铜、银含量低，铅/锌比值高，产于陆棚碳酸盐地层中，有后生裂隙充填矿化等特征。

区域地质背景

层状矿床产在具有相当厚沉积岩系的局限的次级沉积盆地内，这些次级或三级沉积盆地的面积有几百平方米至几平方公里，位于较大的边缘海槽内或二级盆地中，通常形成于受主干断层带控制的扩张构造环境中。主干断层带构成了大的一级沉积盆地的边缘。这些盆地是长期发育的、含有几个地质时代的地层（表2）。最近在育空地区、爱尔兰和麦克阿瑟河的区域地质研究表明，某些一级沉积盆地的边缘就是基底走向滑断层。

一级沉积盆地呈长条状，宽几十公里，长几百公里，它们或者含有厚层的海侵岩系（与相邻的陆棚上较薄的地层适成对照），或含有与较厚的陆棚碳酸盐有关的薄层泻湖盆地相地层。沉积岩相和地层厚度在盆地边缘发生突变，这似乎反映了盆地的边界受断层控制。盆地岩相主要是浅水碎屑相（帕塞尔—贝尔特盆地）或浅水碳酸盐相（中爱尔兰盆地、巴顿海槽、莱卡特河海槽）以及浅水碎屑岩—碳酸盐岩和深水页岩、燧石和浊积岩的混合相（塞尔温盆地和华力西盆地）。断层诱发的盆地下沉的结束可由海退岩系来判断。火山岩一般限于边缘海槽内产出，规模较小，通常由薄层凝灰岩层组成，不过，在安维尔等地可出现厚层安山质或玄武质火山岩。一级盆地的沉积可被造山运动中断（在西塞尔温盆地的奥陶纪，中爱尔兰盆地的加里东期），但通常一级盆地沉积代表了稳定的无造山运动的内克拉通环境。绝大多数一级盆地的宽度是均一的，但塞尔温和帕塞尔—贝尔特盆地向北美克拉通突出，据解释，这一特征是拗拉槽或断裂滑块的反映。虽然三级盆地看起来不受拗拉槽的控制，但拗拉槽边缘断层起到了构造交会作用，正如在贾森—托姆和沙利文所见到的那样。锡尔弗迈因斯、麦根、腊梅尔斯堡矿区亦出现区域横断层交会的现象。

有些层状矿床的区域背景被解释为拗拉槽（可能沙利文属例外），然而所有一级盆

表2 沉积岩容矿的铅—锌、银矿床产出的一级盆地和边缘海槽
(二级盆地)及其规模

矿床	一级盆地及其规模	沉积时代	边缘海槽(二级盆地)及其规模	边缘海槽内亚旋回沉积时代
北美西部				
红狗	未知	未知	未知	晚泥盆世至早石炭世
贾森—托姆	塞尔温盆地 20—150×1200km	早寒武世至晚密西西比世	麦克米伦海槽 10×70km	中泥盆世至早密西西比世
霍华兹山口	塞尔温盆地 20—150×1200km	早寒武世至晚密西西比世	纳汉尼海槽 10×120km	早奥陶世至晚志留世
安维尔地区	塞尔温盆地 20—150×1200km	早寒武世至晚密西西比世	未知	早寒武世至奥陶纪
沙利文	帕塞尔—贝尔特盆地 300×600km	中元古代 (1800—850百万年)	中奥尔德里季海槽 20×100km(?)	中元古代 (1480—1320百万年)
欧洲				
锡尔弗迈因斯 其他爱尔兰矿床 麦根	中爱尔兰盆地 100×350km 华力西盆地 150×500km	早奥陶世至晚石炭世 早泥盆世至晚石炭世	香农海槽 30×200km 未知	早石炭世至晚石炭世 中泥盆世至晚泥盆世
腊梅尔斯堡	华力西盆地 150×500km	早泥盆世至晚石炭世	戈斯拉尔海槽 宽10km多	中泥盆世
澳大利亚				
麦克阿瑟河	巴顿海槽 100×800km	中元古代 (1780—1460百万年)	布尔巴拉洼地 15×35km	中元古代 (巴内克里克组)
芒特艾萨	莱卡特海槽 20×400km	中元古代 (1780—1460百万年)	未知	中元古代 (乌尔卡特页岩)
布罗肯希尔	未知	早元古代 (1820—1700百万年)	未知	早元古代 (矿山层序)

地都与拗拉槽不同,因它们是平行大陆边缘,而不是突向克拉通。少数盆地展现出典型拗拉槽沉积阶段的沉积岩系,构造性质上主要不是垂直运动,并且盆地不被横向造山带切穿。Large (1981) 曾指出,层状矿床都产在裂谷中,但是除安维尔外在产出层状矿床的地质环境中显然缺乏大量的基性—中性火山岩,这是区分层状成矿环境与裂谷环境的一个标志。此外,层状矿床中的地热系统是与盆地边缘的同沉积期断层活动有关,而与裂谷有关的热点可能无关。

塞尔温盆地

塞尔温盆地的南西边界是廷提纳海沟(图1),它是北美西部的一条最重要的基底走向滑断层带。在育空区的中部,这一断层带宽达12公里,并由一系列的断块组成,有

些断块呈现出7000米以上的垂直位移。局部出现蛇纹岩和榴辉岩，表明断层很深。廷提纳断层带长大于600公里，并与落基山海沟相接。落基山海沟具有与廷提纳断层带相似的特征，它穿过不列颠哥伦比亚进入蒙大拿延伸达1600公里。廷提纳断层带从早古生代至第三纪累计右旋走向滑动400多公里。塞尔温盆地的东北边界是纳汉尼线性构造，是一明显的走向滑断层带，也是由晚寒武世至中泥盆世的沉积岩相所展示的最重要的一个断层带。最近在育空地区北部的地质填图发现了沿推测的纳汉尼断层带北延的泥盆纪至密西西比纪时期的走向滑动断层作用的证据。

塞尔温盆地位于西南面的卡西尔台地与东北面的马更些台地的陆棚碳酸盐相带之间，盆地由罗德河群和厄恩群两套地层组成。罗德河群（早寒武世至中泥盆世）主要为碳质页岩和灰岩，而进入盆地中央则变为以燧石沉积为主的岩相。这个非补偿盆地沉积相与同时期的陆棚碳酸盐相相比属深水沉积并且沉积层较薄。上覆的厄恩群（晚泥盆世至早

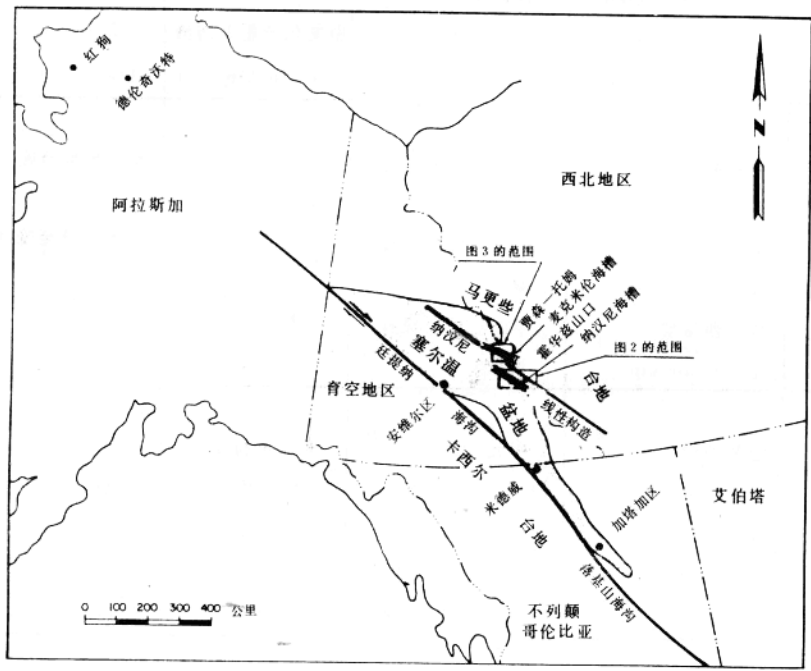


图1 北美西北部塞尔温一级盆地及其边缘海槽中主要沉积岩容矿的铅-锌-银矿床及有关的主要断层

密西西比世)呈北西-南东向带状展布，由厚层的浊积扇组成，浊积扇的端部为粉砂质页岩，中心部位为燧石质卵石砾岩层。塞尔温盆地的沉积于晚密西西比世返回到浅水碎屑沉积而告结束，这套沉积岩系反映了从早寒武世至晚密西西比世完整的一套海侵-海退旋回。

在安维尔、霍华兹山口和贾森-托姆区，依边缘海槽的沉积岩性过渡关系可区分出三个海侵-海退亚旋回。虽然变质作用、强烈的变形作用使安维尔边缘海槽模糊不清，

然而从下寒武统的钙质页岩和灰岩向上明显过渡为较深水沉积的碳质页岩和粉砂质浊积岩，再向上至上寒武统和下奥陶统又变成灰岩，这一地层顺序仍是清晰的，安山质岩流和凝灰岩在部分地层中普遍存在。安维尔区后一亚旋回的沉积地层后来遭受了晚奥陶世广泛的变质作用和变形作用，区域变质等级有黑云母相和十字石相，该区北部几公里的范围为变质中心，变质程度最高。

霍华兹山口矿区的纳汉尼海槽（图2）的亚旋回包括下奥陶统泥岩、灰岩，向上变为较深水的碳质、硅质、含黄铁矿泥岩，再向上为上泥盆统的粉砂质泥岩。虽然较晚的沉积岩明显地不属浅水沉积，但据信这一沉积亚旋回是因盆地东部边缘构造的再次活动而中断的，它是最早的厄恩群浊积层。有几个特征表明纳汉尼海槽是以断层为边界：海槽窄长且平行纳汉尼线性构造，海槽中央的沉积厚度比盆地别处大三倍，沉积时水较深，估计为500-1600米，沿沉积同期的线性构造出现玄武质火山岩线性带。

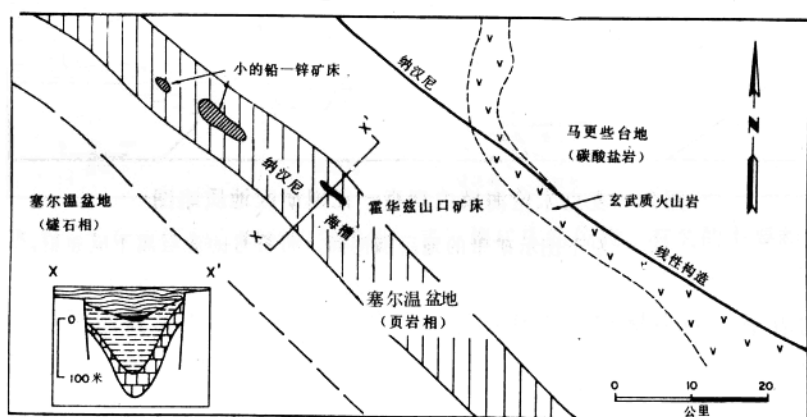


图2 霍华兹山口矿区内纳汉尼海槽及沿纳汉尼线性构造的晚志留世岩相。

左下图为纳汉尼海槽地层横剖面

（据Morganti, 1977修正）

麦克米伦海槽（图3）也是窄而长并平行于纳汉尼线性构造，它以同沉积期断层为边界，以其岩相、边界厚度的突变为标志。下厄恩群浊积层下伏于复杂和活动的沉积岩系之下，它是西北方向物质来源区通向海槽的通道，有些浊积层完全被限制在海槽内，因为下厄恩群和罗德河群的接触界面上有海槽边缘的滑塌角砾岩和英安质火山岩层。下厄恩群页岩中碳质含量高并缺少互层的碳酸盐层（即在碳酸盐补偿深度之下），这表明它是较深水的沉积物。而在下伏的罗德河群中有许多灰岩层与下厄恩群适呈鲜明对照。海槽中沉积了下厄恩群浊积岩和页岩后广泛沉积了上厄恩群浊积岩，它以典型的砂-页岩交互层出现，逐渐过渡至西北方向的物质来源区。麦克米伦海槽亚旋回以厄恩群后的浅水碎屑沉积而告终。

麦克米伦海槽以具有区域性构造为特征，泥盆纪同沉积期的断层活动使其岩相和厚度与相邻断块明显不同，中生代的构造活动反映在边缘的岩相和厚度变化上：海槽外为

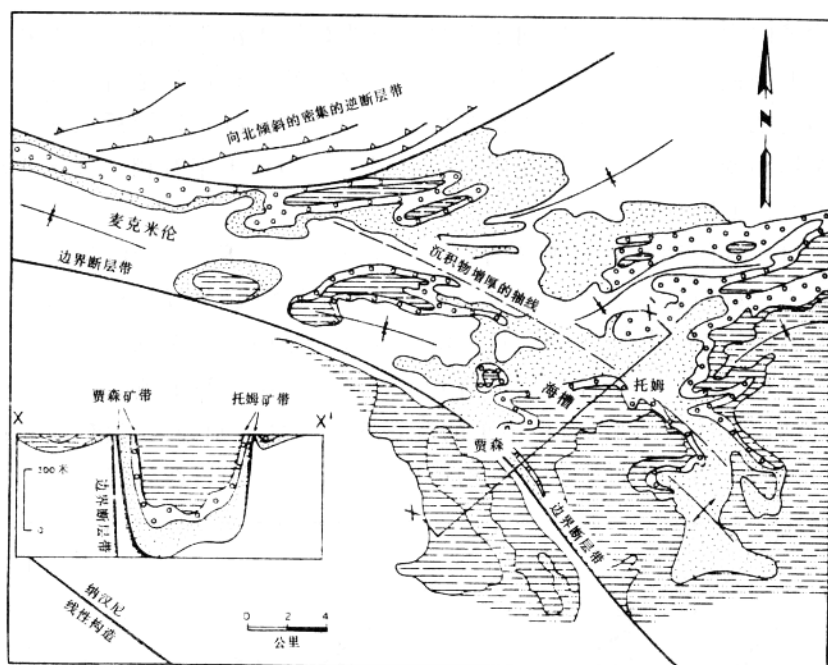


图3 麦克米伦海槽内贾森—托姆矿区地质略图

左下图示矿带的地层横剖面，带符号的地层属厄恩群。

平缓至中等的褶皱，而海槽边缘为陡而紧闭的等斜褶皱，一些泥盆纪断层显然进行过再活动。沿海槽的北缘出现一个密集而狭窄的向南逆冲的断层带。虽然逆冲断层的时代是否属泥盆纪还不甚明确，但其逆掩形式与中生代向北逆冲的断层是很不相同的，在贾森—托姆矿区两个同时代的中生代褶皱带出现在明显的构造交会部位，区域性的北西向褶皱带被北东向褶皱带交切吞并，后一点可能反映了横向的元古代拗拉槽边缘。

帕塞尔—贝尔特盆地

帕塞尔—贝尔特超厚层的碎屑沉积记录了中元古代稳定的内克拉通凹湾中漫长的浅水沉积过程，该内克拉通从科迪勒拉冒地槽的边界向东南突出（图4），其内部沉积轴呈北西走向，与主要走向滑断层带（如帕塞尔—贝尔特期活动的Hope断层、Lewis和Clark构造线）一致。盆地边缘断层的证据不足，其西南边缘被爱达荷岩基切断或被年轻的火山岩复盖，东北边缘与蒙大拿褶皱带重合，该褶皱带使过渡至同期的陆棚沉积的关系模糊不清。虽然沿落基山海沟的活动断裂未延伸到比第三纪更老的岩层，但主要构造带的性质、及其走向平行中元古代走向滑断层和平行帕塞尔—贝尔特的东北边缘表明，古落基山海沟可能构成了该盆地的北东边缘。在沙利文矿床赋存层位一中奥尔德里季组浊积岩及相应的陆棚碎屑岩之间存在横切落基山海沟的岩相界线支持了这一结论。中元古代的横向海槽沿北东向切穿帕塞尔—贝尔特盆地的北部，海槽中有很厚的帕塞尔—贝尔特岩系，该岩系包括厚层的中奥尔德里季组浊积岩和砾岩。沙利文矿床沿横向海槽的

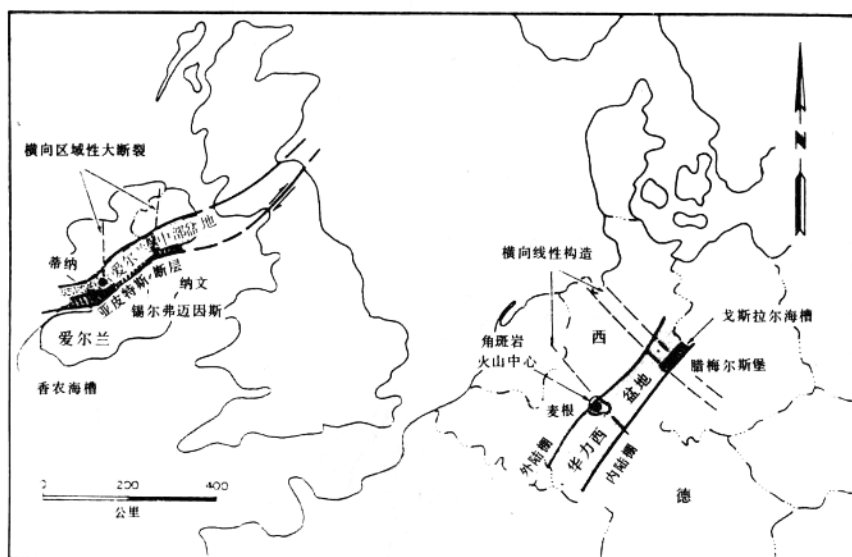


图5 西欧主要的沉积岩容矿的层状铅-锌-银矿床、有关的主要断层、一级盆地、边缘海槽和横向线性构造

华力西盆地

华力西盆地（图5）是一早泥盆世至晚石炭世时期的北东走向长条形海槽，位于北面大陆的外陆棚与南面中欧结晶带（或叫内陆棚）之间。盆地沉积岩相有远深海或近海半深海相黑色页岩和浊积岩，两次大规模的海水北侵中断了盆地北缘的陆棚与盆地之间其他变化不大的岩相带（图6），据信这些稳定的岩相带的边界是断层边缘的反映。麦根矿床位于盆地北缘的一局部三级盆地中（图7），紧靠一较老的早泥盆世石英角斑岩火山中心，与广泛分布的玄武质火山岩和薄层凝灰岩是同期的，处于与北西走向的翁纳（Unna）—吉森（Giessen）线性构造交会处。华力西盆地的鉴别特征是，内部以断层为边界的隆起和盆地有不同的岩相和厚度。赋存腊梅尔斯堡矿床的戈斯拉尔（Goslar）海槽是一个二级深水盆地，位于华力西盆地与南面的西哈茨（Harz）隆起之间的一枢纽带以北。沉积厚度的增加（10倍于一般厚度）反映了枢纽带的存在（图8），它可能是华力西盆地的东南缘。海槽中的沉积物有远深海页岩和浊积岩，并有薄层英安质一流纹质凝灰岩层，局部有辉绿岩及相关的“兰—迪尔”或“火山”型铁矿建造。腊梅尔斯堡位于盆地与北西走向的埃尔比（Elbe）断裂—华力西晚期右旋横推断层带交会部位，该横推断层带在晚泥盆世时可能活动过，晚泥盆世至早石炭世的华力西造山运动使华力西盆地遭受了强烈变形，其中变形最剧烈的是腊梅尔斯堡复杂的同斜倒转向斜。

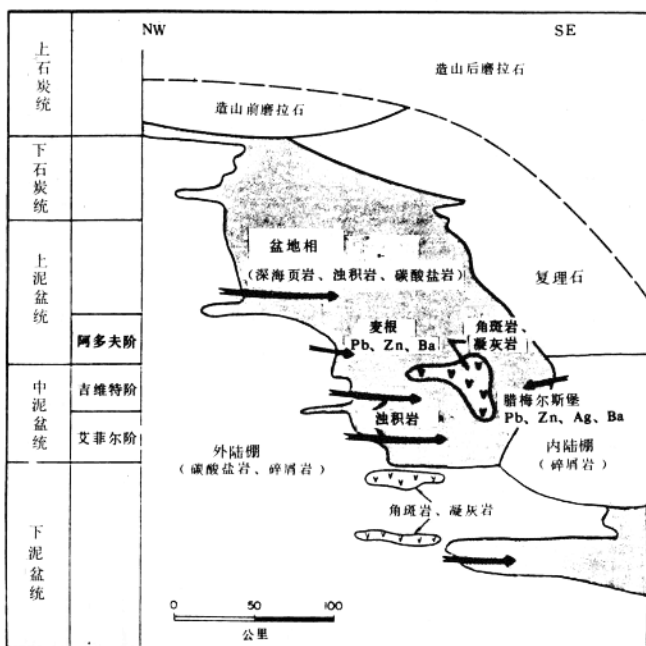


图6 华力西一级盆地横剖面图解，图示麦根和腊梅尔斯堡矿床在盆地相中的位置 (据 Krebs, 1979修正)

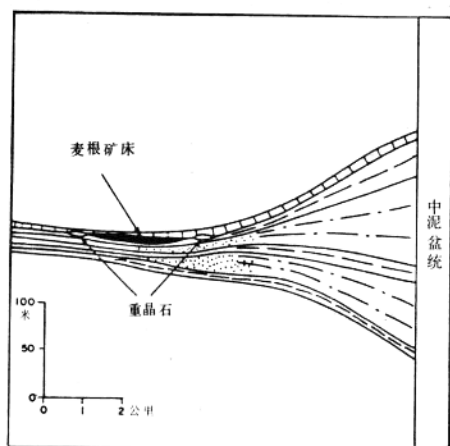


图7 麦根矿区古地理横剖面略图 (据 Gwosdz, 1976修正)

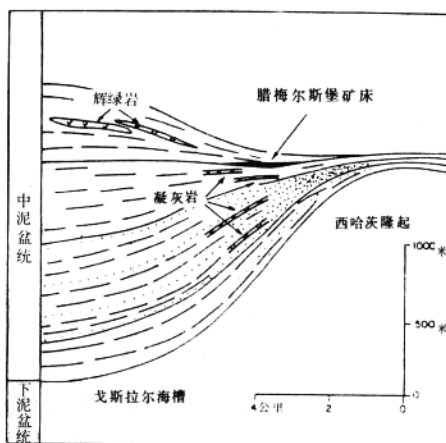


图8 赋存腊梅尔斯堡矿床的戈斯拉尔海槽古地理横剖面略图 (据 Hannak, 1981修正)

巴顿海槽和莱哈特河海槽

在接近并平行北澳大利亚克拉通东缘的长条状一级盆地中 (图9) 沉积了厚层中元古代浅水沉积岩系。巴顿 (Batten) 和莱哈特河 (Leichhardt River) 海槽为内克拉

通盆地，分布在长1200公里长的范围内，主要是同沉积期的走向滑断层内的扩张构造所致，在巴顿海槽有大陆基底断层再活动作用。拉斑玄武岩的存在表明这一构造带可能具有裂谷的性质。盆地东西两侧的陆棚沉积相对较薄：仅1.5-4公里厚，而巴顿海槽的沉积则厚达12公里。受断层控制的盆地下沉是稳定和渐进的，因为它的沉积物几乎完全属浅水相，盆地内同沉积期或沉积期后的断裂使相邻地块的地层剖面产生了极大的差异性，垂直运动使基底位移达几公里，相反在相邻的陆棚区构造形变则很微弱。

巴顿海槽中的沉积岩有白云质和石英质碎屑岩、叠层碳酸盐岩、蒸发岩和少量凝灰岩。盆地东缘的埃穆（Emu）断层的活动产生了布尔布拉（Bulburm）洼地，即二级盆地，其中沉积了白云质、碳质、含黄铁矿黑色页岩及凝灰岩夹层，局部有浊积岩和坍塌角砾岩。在这个亚旋回岩系中赋存了麦克阿瑟河矿床。Muir（1983）提出的证据表明，

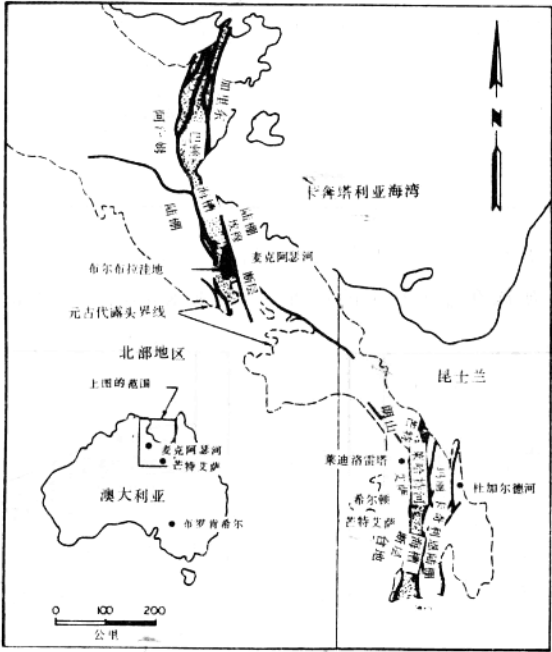


图9 澳大利亚东部主要沉积岩容矿的层状铅-锌-银矿床、有关的主要断层、一级盆地和布尔布拉洼地（边缘海槽）（据Plumb等人，1980）

麦克阿瑟、芒特艾萨、杜加尔德河赋矿地层可能是湖泊成因。上覆的白云质地层完全局限于巴顿海槽中，但断裂诱发的下沉结束后，这一地区被磨拉石砂岩所覆盖。

莱哈特河海槽有碳酸盐岩及长石石英质碎屑岩以及大陆拉斑玄武岩，已确定有两次大的海侵亚旋回，后一旋回由浅水碳酸盐岩和碎屑岩组成，并以碳质和含黄铁矿黑色页岩沉积而告终。这一层包含有许多凝灰质层，它是芒特艾萨矿床的赋矿地层。芒特艾萨地区经历了中元古代后期芒特艾萨造山运动的变形作用、多阶段的闪石相变质作用以及花岗岩的侵入作用。

矿床

次级盆地的地层与构造

赋存层状矿床的局部盆地一般含有可作为容矿岩的特征岩石，这一地层区间与上覆、下伏及横向上相应的岩石差别很大。浊积岩或岩屑流反映了相对深水的沉积作用，它们分布在局部地区，表明近源高能搬运作用，如沙利文矿床的下盘砾岩和麦克阿瑟河矿床东部的粗粒碳酸盐浊积岩。然而特别富含碳质、黄铁矿和二氧化硅（碳酸盐岩内含量很低）的纹层状黑色页岩则可能一般地反映较深水静海环境。不论整个地层序列中是以碎屑岩为主还是碳酸盐岩为主，这些黑色页岩是大多数层状矿床的直接容矿岩石。在碳酸盐岩系列中的黑色页岩内可能含有大量的碳酸盐岩，而富钾的页岩表明其含有凝灰质组分，上述二个特征适用于麦克阿瑟河与芒特艾萨矿床。矿床围岩组合的最重要特征是具有与盆地边缘的局部断层陡崖有关的沉积滑塌角砾岩，在接近陡崖处角砾岩厚度最大，这是同沉积期断裂活动的证据。

尽管伴生的火山岩并非很多，但它们都显示出同矿化的密切关系。火山岩组合可能划分为三类：（1）空间或时间上与玄武质的（霍华兹山口、芒特艾萨、爱尔兰矿床、沙利文、麦根）、安山质的（安维尔）或角斑质的（麦根）熔岩或凝灰岩有关；（2）与中性（贾森）或富硅质（布罗肯希尔）成分的下盘火山质围岩有密切的空间关系；（3）是最常见的组合，在含矿带地层层位上薄层中性—富硅质的凝灰岩层或火山碎屑岩的产出频率和厚度均最大。除贾森—托姆、霍华兹山口、沙利文和布罗肯希尔外，所有矿床均已确认属后一类组合，含凝灰岩层最多的要数腊梅尔斯堡（20层）和芒特艾萨（60层）。

矿化带出现在岩性明显不同的岩层之间的间断面上，这反映出成矿作用与急速变化的沉积环境间的关系。盆地边缘沉积厚度与岩相的显著变化以及局限于盆地内部源于陡崖的角砾岩和各种高能沉积物的出现都证明盆地实质上是以同沉积断裂为边界的下降断块。这些断裂运动使沉积作用产生了构造中断。断层带内的热液蚀变通道、陡崖处矿带厚度的增加以及金属分带与断错边界相关等均提供了断层控矿的辅助证据。沉积物厚度的变化还反映在成矿后的构造异常上：在贾森—托姆、锡尔弗迈因斯和腊梅尔斯堡等处的盆地边缘有异常紧闭的褶皱构造。矿化作用和次级盆地的发育也可能同断裂的交会有关，同时与沿着边界断层的最大落差点有关，如上述著名的贾森—托姆和沙利文矿床。锡尔弗迈因斯矿床则位于亚皮特斯断层最大落差点的双重或三重断裂交会处。

矿物、结构、构造和同位素

层状矿床由一个或多个整合的、互层产出的硫化物和非硫化物矿带组成。硫化物主要有黄铁矿、闪锌矿和方铅矿，少量黄铜矿、黝铜矿、毒砂、磁黄铁矿和白铁矿。矿床可能富含黄铁矿（安维尔、沙利文、麦根）或贫黄铁矿（布罗肯希尔、霍华兹山口）。未变质硫化物呈非常细粒的细纹层与单矿物薄层交替产出，并出现有胶状、草莓状和微角砾状结构。非硫化物矿物和容矿岩石一般呈互层状。Williams (1978) 对未变质的麦克阿瑟河矿床的详细研究表明，早期细粒黄铁矿自形晶和草莓状黄铁矿均有晚期黄铁矿

增生，闪锌矿和方铅矿充填于增生的黄铁矿颗粒间隙中而不与黄铁矿早期核心接触。在霍华兹山口和芒特艾萨也报导过相似的结构。

硫化物普遍存在着侧向与垂向上的分带，在正常情况下，在下伏的和侧向通道附近有铜和银的相对富集现象（图10）。随着远离通道， $Pb + Ag/Zn$ 比值降低，而以锌为主的周边矿石可能逐渐变成黄铁矿。但腊梅尔斯堡矿床是例外，该矿上覆有富铅矿体，是一个特殊的典型黑矿床，非硫化物矿物有重晶石、菱铁矿、赤铁矿、石英和白云石。红狗、贾森—托姆、加塔加地区、锡尔弗迈因斯（图11）、麦根和腊梅尔斯堡矿床的周边

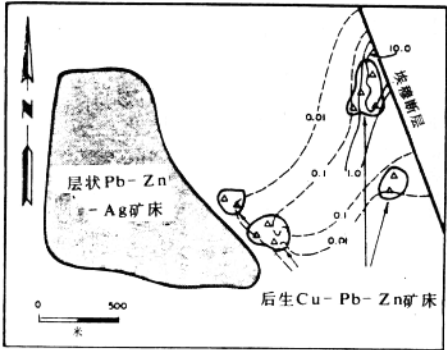


图10 麦克阿瑟河层状矿床与埃穆断层带侧向通道之间的后生矿床贱金属分带
(据Williams, 1978)
等值线: Cu Pb + Zn

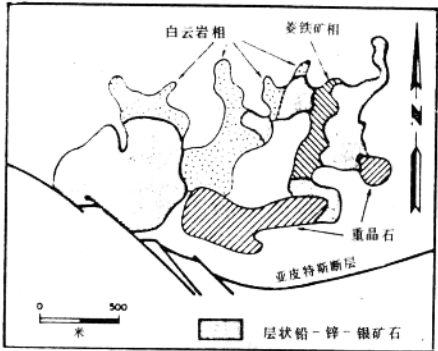


图11 锡尔弗迈因斯层状矿床周边非硫化物脉石相
(据Taylor和Andrew, 1978修正)

和上覆部分有重晶石出现，这反应了沉积硫化物的还原池边部的局部氧化环境。在贾森—托姆、安维尔和腊梅尔斯堡也有大量重晶石夹层，这代表着氧化和还原环境的交替。周边的菱铁矿（锡尔弗迈因斯）或赤铁矿（蒂纳）表明了铁的沉淀，反映了硫的还原活性或氧化环境。某些矿床在侧向上广泛地相变为含铁燧石层。锰的地球化学晕可能延伸到离矿体几公里远以外（麦根、蒂纳）。

层状硫化物矿体的底部和上部的接触界线很清楚。除矿化通道外，在上、下盘地层中很少有矿化出现。矿床内部组分上的总体层状构造意味着，矿床是由含矿流体脉动式地反复进入到盆地沉积形成的。这种成矿作用可能持续一段较长时间（腊梅尔斯堡矿床从早到中泥盆世）或形成较大的厚度（在芒特艾萨矿床，厚达1000米，包含16个矿带），表明了沉积盆地的稳定性。矿床化学成分的渐变规律一般是 Pb/Zn 比值和铜在上部可能增高，高品位矿石可能出现在上部地层内，硫化矿石内常有沉积物的柔褶和角砾岩化现象，这表明在盆底斜坡上可能存在有断裂活动引起的滑塌作用。

尽管包括沙利文、爱尔兰矿床、麦根、腊梅尔斯堡、麦克阿瑟河、芒特艾萨和布罗肯希尔等层状矿床都具有符合于单阶段（“普通”）铅模式的均一铅同位素比值，但由