黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十

与火山-次火山岩有关的铅-锌矿床

YU HUOSHAN-CIHUOSHANYAN YOUGUAN DE QIAN-XIN KUANGCHUANG

中国人民武装警察部队黄金地质研究所

2009 年 12 月

黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十

与火山-次火山岩有关的铅-锌矿床

YU HUOSHAN-CIHUOSHANYAN YOUGUAN DE QIAN-XIN KUANGCHUANG

课题组成员：李杰美　王美娟　朝银银　马　潇
王　欣　张　岱

黄金地质研究所
信息室 提供

目　　次

概　述
火山岩容矿的海底喷气铅-锌矿床有利于普查的地质标志 …… (1)
与火山活动有关的铅-锌矿床 …… (1)
产于海相火山岩系中的铅-锌矿床 …… (3)
以火山岩为容矿岩石的铅-锌矿床 …… (3)
火山岩型铅-锌矿床 …… (4)
火山岩型块状硫化物（VMS）型矿床主要特征 …… (4)
海相火山岩型铅-锌矿产出的地质背景 …… (21)
VMS 型铅-锌矿床勘查方法 …… (21)
VMS 型铅-锌成矿模式 …… (30)
与海相火山岩有关的铅-锌矿床的主要特征 …… (35)
矿床各论
国　内
新疆可可塔勒铅-锌矿床 …… (39)
梅仙式铅-锌矿床 …… (47)
云南老厂铅-锌-银-多金属矿床 …… (53)
辽宁红透山铜-锌矿床 …… (58)
河北蔡家营铅-锌-银矿床 …… (60)
国　外
澳大利亚麦克阿瑟河锌-铅-银矿床 …… (61)
美国塞尔维希尔锌矿床 …… (64)
加拿大基德克里克（Kidd Creek）锌-铜矿床 …… (65)
葡萄牙内维斯—科尔沃锌-铜矿床 …… (69)
南非甘斯堡（Gamsberg）锌矿床 …… (72)
详细摘要
国　内
甘肃小铁山铅-锌矿床 …… (73)
新疆阿巴宫铅-锌-铁矿床 …… (74)
新疆阿克哈仁铅-锌矿床 …… (75)
新疆铁米尔特铅-锌矿床 …… (76)
河北北岔沟门铅-锌矿床 …… (78)
福建黛溪铅-锌矿床 …… (79)
浙江大岭口铅-锌矿床 …… (81)
福建牛路坑铅-锌矿床 …… (82)
国　外
加拿大不伦瑞克铅-锌矿床 …… (83)
哈萨克斯坦列宁诺哥尔斯克铅-锌矿床 …… (83)
澳大利亚伍德朗锌-铅-铜矿床 …… (84)
南非布罗肯希尔铅-锌-铜矿床 …… (84)
南非普里斯卡锌-铜矿床 …… (84)

黄金地质研究所
信息室 提供

矿床模式

岛弧带上与火山喷发有关的（呷村式）块状硫化物重晶石铅-锌-银矿床模式 …… (84)

古隆起带上与陆相火山活动有关的（蔡家营式）脉状铅-锌-银矿床模式 …… (87)

找矿案例

新疆可可塔勒铅-锌矿床的发现 …… (89)

美国威斯康星州北部块状硫化物矿床发现史 …… (89)

日本北鹿地区黑矿型矿床的勘查 …… (91)

附　录

世界铅资源 2006—2007 年评…… (92)

世界锌资源 2006—2007 年评…… (97)

黄金地质研究所
信息室 提供

火山岩容矿的海底喷气铅-锌矿床有利于普查的地质标志

对火山岩容矿的海底喷气矿床来说，有利于普查的地质标志有以下几项。

1）优地槽内分异良好的富钾、钠的长英质火山岩及次火山岩分布区。这种火山岩往往由 3 部分组成，下部以玄武岩为主的厚层枕状和多孔状熔岩；向上为安山岩为主的熔岩流、熔岩角砾岩和凝灰岩；最上部主要是英安岩至流纹岩成分的火山岩，为块状、无结构的熔岩流和（或）碎屑大小不等的火山碎屑岩。多数矿床产于这样的火山杂岩中。

2）酸性火山喷发中心，矿床往往聚集在喷发中心附近。

3）各种酸性火山碎屑岩（酸性集块岩、酸性火山碎屑岩和粗凝灰岩），是矿体常见的容矿岩石。D. F 桑斯特称其为“选厂岩”，并指出在大多数前寒武纪块状硫化物矿床的 0.5 英里范围内就能发现“选厂岩”。

4）各种岩性、岩相的接触带，尤其是基性或中性火山岩与酸性火山岩的接触带，以及酸性或基性火山岩与上覆沉积岩的界面，矿体往往产在这些部位。

5）火山喷气作用的重要迹象——喷气岩或燧石层。喷气岩通常由薄层硅质、铁质和锰质组成。燧石层呈条带状，很易变化，往往被误认为石英砂岩，故在寻找此类矿床时，对那种象石英砂岩的那种岩石要充分注意，很可能指示下部有矿。燧石层不一定为纯 SiO_2，有时含磁铁矿、黄铁矿、凝灰质及碎屑，由于常含铁质，故往往呈粉红色。在古生代地层中，燧石层可含重晶石、菱铁矿和氧化铁。燧石层厚度不一定大，有的只有几厘米，但它指示出成矿时有喷气活动，是重要的找矿标志。

摘自《国外矿产资源》

与火山活动有关的铅-锌矿床

该类铅-锌矿床分布在我国火山岩发育的地区，是伴随火山喷发和浅成—超浅成潜火山活动而形成的，并产于火山岩或火山沉积岩中。由于火山活动的地质构造环境不同，可分为陆相火山岩型和海相火山岩型 2 类。陆相火山岩型铅-锌矿床主要分布在我国东部，中生代火山岩发育地区。海相火山岩型铅-锌矿床主要分布在我国的优地槽区火山沉积岩系中。总的来看，我国火山岩型铅-锌矿床分布比较广，数量也比较多，但以小型和矿点为主，大中型矿床仅有 15 处（不包括未上 1998 年储量表的新疆阿舍勒、可可塔勒、铁米尔特、阿巴宫等矿床），如浙江五部和大岭口、江西银山、福建莆田银坑、四川呷村和嘎依穷、甘肃小铁山、青海锡铁山、辽宁红透山等，它们的累计保有储量：Pb 225.71 万 t，Zn 1 250.05 万 t，分别占全国大中型矿床铅-锌总保有储量的 8.8% 和 15.9%。其中，陆相火山岩型铅-锌矿床分别占 2.5% 和 3.8%，海相火山岩型铅-锌矿床分别占 6.3% 和 12.1%（包括黄铁矿型铜矿床中的锌保有储量）。据 Перваго (1975）统计，黄铁矿型铅-锌矿床（不包括黄铁矿型铜矿床中的锌储量）的储量占世界铅-锌总储量的 31%，其中前寒武纪矿床储量占 9%，古生代矿床储量占 21%，中生代矿床储量占 1%，它们的重要性在世界铅-锌储量中仅次于层控铅-锌矿床。他把陆相火山岩型铅-锌矿床看作中低温热液矿床划入热液矿床范围内。相比之下，我国火山岩型铅-锌矿床的重要性也是显而易见的。

1 陆相火山岩型铅-锌矿床

该类铅-锌矿床产于陆相火山沉积盆地的破火山口边缘，酸性、中酸性火山岩断裂中，呈脉状、透镜状，成群成带，如江西银山、浙江五部等，也产于粒度不一的火山碎屑岩过渡带中或火山沉积岩中，受层间断裂控制，呈似层状、透镜状。有人将前者划入陆相火山热液矿床，后者划为陆相火山沉积矿床。对于陆相火山岩型铅-锌矿床来说，虽然它们产出特征有所差异，但是在成因上是相似的。单个矿体长几十至数百米，有的数千米；斜深几十至几百米，最大斜深达千米以上；厚几十厘米至数

黄金地质研究所
信息室 提供

米，最厚达 50 m 左右。沿矿体走向和倾向有分支复合和膨缩现象。脉状矿体品位较富，Pb＋Zn 多在 4% 左右，Cu（Pb）/Co（Zn）值（2∶1）～(1∶2)。似层状矿体矿石贫，Pb＋Zn 多小于 4%，w（Pb）/w（Zn）值 1.5～0.8；矿床规模以小型为主，少数达大型（如浙江五部；图 1）。

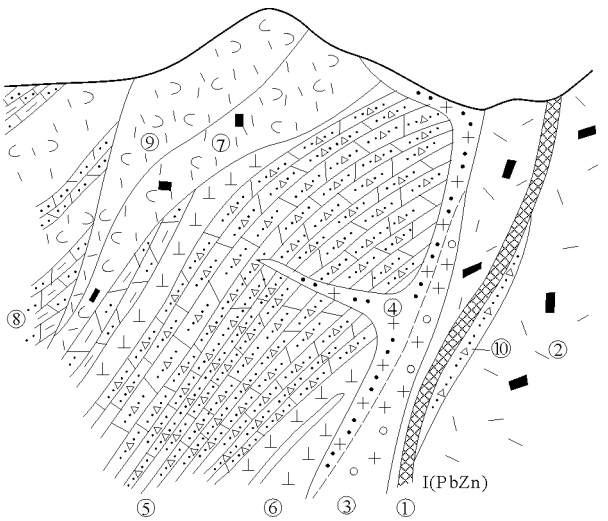


图 1　浙江五部铅-锌矿床第 51 号勘探线地质剖面示意图

（据浙江省地质局台州地质大队，1980）

①—Ⅰ号铅-锌矿体；②—上侏罗统晶屑玻屑凝灰岩；③—石英霏细斑岩；④—石英斑岩；⑤—含砾凝灰岩；⑥—辉绿玢岩；⑦—玻屑晶屑凝灰岩；⑧—粉砂质泥质岩；⑨—玻屑凝灰(熔)岩；⑩—沉积角砾凝灰岩

金属矿物以方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等为主，非金属矿物以石英、绢云母、菱铁矿、含锰方解石等为主。矿石构造主要为块状、团块状、细脉状、浸染状和角砾状等，结构主要为结晶粒状和交代等结构。成矿是多阶段的，通常可以分为硫化物-石英、硫化物硫锑盐和硫化物-碳酸盐阶段，由中温演化到低温阶段（300～100 ℃）。

围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、菱铁矿化、含锰方解石化、萤石化等。蚀变分带和矿化分带一般不明显，在一些矿床中（如江西银山），从次火山岩体向外和由深部向浅部，显示黄铁矿化、硅化、绢云母化→硅化、绢云母化→绿泥石化、菱铁矿化蚀变分带和相应的 Cu→Cu-Pb-Zn→Pb-Zn→Pb-Zn-Ag 矿化分带。

矿石硫同位素组成变化在 −5‰～5‰之间，呈塔式分布，峰值近于 0。矿石铅同位素组成变化较小，以放射铅为主。这暗示成矿物质来自深源岩浆。金属矿物流体包裹体氢氧同位素表明，成矿流体介质水以大气降水为主，混有岩浆水。

2　海相火山岩型铅-锌矿床

该类矿床分布于优地槽造山带中，赋存于细碧角斑岩建造或流纹岩-玄武岩建造火山沉积岩系中。赋矿围岩为石英角斑质凝灰岩、流纹质凝灰岩、细碧岩、绿泥片岩与大理岩接触带的火山碎屑岩或大理岩。这类矿床常形成于不同的地质环境中，就我国北部祁连海相火山岩型铜、多金属矿床来看，可以分为 Cu-Fe 型（红沟型）、Cu-Zn 型（蛇绿岩型）和 Cu-Pb-Zn 型（白银厂型；夏林圻等，1991；孙海田等，1993）。Cu-Fe 型矿床形成于弧间或弧后盆地环境，赋矿岩石为细碧岩；Cu-Zn 型矿床形成于大洋拉张环境，赋矿岩石为蛇绿岩套上部枕状细碧岩与变玄武质凝灰岩和碳质板岩、片岩过渡层位中；Cu-Pb-Zn 型矿床形成于优地槽发育早期裂谷岛弧环境，与中心式中酸性火山喷发活动有关，赋矿岩石为石英角斑质凝灰岩。矿体呈似层状、透镜状，成群产出。矿体与围岩产状一致。单个矿体长几十至上千米，斜深几十至几百米，厚几米至数十米。矿石品位中至富，常与 Cu 共生，富含金和银，w（Pb）/w（Zn）值（对 Pb-Zn 建造矿床）1∶1.5至 1∶3，规模大—中型。

金属矿物以黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等为主，非金属矿物以石英、绢云母、绿泥石、重晶石、方解石等为主，具有块状、浸染状、条带状、细脉状、角砾状等构造和结晶粒状、交代结构。根据矿石金属元素组合特征，可分为 Cu 建造、Cu-Zn 建造（如辽宁红透山、新疆阿舍勒）、Cu-Pb-Zn 建造（如甘肃小铁山、四川呷村）和 Pb-Zn 建造（如青海锡铁山、新疆可可塔勒）；它们常共生在一个矿田中或一个成矿带中，构成一个完整的成矿系列。围岩蚀变强烈，有硅化、绢云母化、绿泥石化、重晶石化等。有的矿床蚀变分带和矿化分带不明显，只是在矿体垂直方向上向深部 Cu 含量有增加趋势。有的矿床下部为筒状硅化、绢云母化蚀变带，伴有脉状和细脉浸染状矿化，上部为似层状硅化、重晶石化、方解石化蚀变带，伴有似层、透镜、块状硫化物矿体。

矿石硫同位素组成为 0～8‰，呈塔式分布，峰值在 4‰～5‰。矿石铅同位素组成变化范围小，以正常铅为主，也有放射性铅。这可能表明成矿金属物质主要来源于海底火山岩。矿石矿物流体包裹体氢氧同位素组成表明，成矿流体的介质水以海水为主，混有岩浆水。

摘自《中国主要金属矿床成矿规律》

黄金地质研究所
信息室 提供

产于海相火山岩系中的铅-锌矿床

这类矿床含矿岩系中火山岩及火山沉积岩十分发育，特别是下盘岩石常是火山熔岩和凝灰岩。有些矿床可以明显看到，沉积（外生）热液（内生）2 种不同的成矿机制同时在起作用。如在白银厂、日本黑矿等矿床可观察到这样的垂直分带：上部是层状、似层状整合矿体，由块状或条带状矿石组成；下部为筒状蚀变带，含网脉状和浸染状矿体。前者主要是沉积成岩作用形成的，物质来源与海底火山岩系有关，而后者则是海下岩石的热液成矿。后者也是前者的热液通道。

西方学者在 20 世纪 50 年代以前，多认为这类矿床是与花岗岩类有关的交代矿床。近 30 多年来，结合红海和太平洋中脊现代海底成矿作用的观察，才肯定了海底火山岩在矿床形成中的重要性。组成本类矿床的金属多认为是热液带来的。这里的热液包括 2 种含义：由岩浆分异派生的热液和被加热了的海水。后者通过环流作用可以把铅、锌等金属从火山岩系中淋滤出来，并搬运富集成矿，这种成矿作用可能是主要的，可称之为热水沉积矿床。

这类矿床（海相火山岩型铅-锌矿床大致相当西方文献中的块状硫化物铅-锌矿床和俄文文献中的黄铁矿型铅-锌矿床，但块状硫化物矿床也可以出现于海底火山活动并不明显的环境。大量铁的硫化物矿物（黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿）的存在是这类矿床的特点。矿石多为致密块状、稠密浸染状、条带状。矿石物质组成较复杂，常有铜的伴生，而金、银含量也较高，可以综合回收。围岩蚀变也较强烈。矿石铅同位素组成多为接近单阶段演化的正常铅。$\delta^{34}S$ 值也很集中，多为接近 0 的正值。

在我国，海相火山岩型铅-锌矿床都受到不同程度的区域变质（如白银厂），混合岩化作用（红透山）。

摘自《中国矿床》

以火山岩为容矿岩石的铅-锌矿床

这类矿床的突出特征是围岩为火山岩。代表性矿床有辽宁红透山铜-锌矿床、河北蔡家营铅-锌矿床和浙江西裘铜-锌矿床等。矿床形成时代较多，分别形成于新太古代花岗岩-绿岩带和古元古代、新元古代活动大陆边缘。矿床明显受构造控制，直接容矿围岩为火山岩。矿体呈层状、似层状、脉状、连续的透镜状及囊状产出，基本与围岩整合接触。如：红透山铜-锌（大型）矿床，是中国目前已知的最古老的铜-锌型块状硫化物矿床。矿床产于华北陆块北缘东段新太古代清原绿岩带红透山组中上部的变粒岩、浅粒岩和片岩（互层）组合中，明显受层位控制。矿体直接围岩（上盘）是夕线黑云片岩和（下盘）石榴堇青直闪片岩。矿床以铜、锌为主，铅含量很低。矿石类型为块状闪锌黄铁矿石、闪锌磁黄铁矿石和含黄铁、磁黄铁矿石。伴生元素主要为 Co，Ag 和 Au。含矿岩系为分异较好的镁铁质—长英质钙碱性火山岩系，矿床赋存在安山质—长英质火山岩中，属于海底火山喷气成因，并与加拿大阿比提比绿岩带中诺兰达地区的块状硫化物矿床的形成环境相似（沈保丰等，1994）。蔡家营铅-锌矿床（特大型）产于古元古代红旗营子群大同营组角闪斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩夹斜长角闪岩和大理岩中。矿区出露的岩浆岩为燕山期的浅成岩和超浅成岩类。矿床由脉状、囊状、透镜体状矿体组成。矿石主要有 2 种类型，东部的绿泥石-闪锌矿型和西部的绢云母-多金属型。区域构造控矿和导矿构造明显，是裂谷下陷沉积阶段多次海底火山喷发—沉积，后又经上隆拉伸和挤压褶皱作用强烈改造成矿。

摘自《中国前寒武纪成矿作用》

黄金地质研究所
信息室 提供

火山岩型铅-锌矿床

与火山岩有关的多金属型和含铜黄铁矿型矿床，都属于这一类型，它也是铅、锌矿的一个主要来源。该类铅、锌储量占国外总储量的 24% 和 42%，矿床规模多为中—大型，分布范围广，中小矿床则品位高。矿床分布于古陆缘坳陷带，与地槽沉积和海底火山喷发的富钾、钠的玄武岩-流纹岩关系密切，火山岩常与火山-沉积岩成互层产出。矿体受火山构造的隆起洼地、火山中心和深大断裂控制。矿体与容矿岩石为整合的和整合交错的透镜状—层状—缟状，矿化带则为脉状、网脉状或浸染状。在同一矿体中，网脉状或浸染状矿石常位于块状矿石之下。矿化带内金属具有分带性，矿体成群出现。围岩具有绿泥石化、黄铁矿化和绢云母化等蚀变。

本类矿床按矿石的主要金属矿物组合可分为 2 个亚类型：1）铜-锌矿床，大多数矿床赋存于以火山岩为主，或火山岩与火山沉积岩的互层中。矿床主要分布区有加拿大地盾、芬诺斯堪的地盾、斯堪的纳维亚加里东造山带、纽芬兰地区中北部、前苏联的乌拉尔和哈萨克斯坦、日本的别枝地区等；2）铅-锌-铜-银型矿床，产在火山岩和火山-沉积混合岩层中，即是钙碱性火山岩和外力碎屑岩相伴生的地层，以元古宙以后的岩系为主。矿床分布于美国的阿巴拉契亚山脉，伊比里亚半岛的黄铁矿带、日本的黑子地区、澳大利亚的塔斯马尼亚地区以及前苏联的外贝加尔地区等。

火山岩型铅-锌矿床，从太古宙到第三纪均有出现，中—新元古代为其极盛时期，多形成大规模的矿床，如形成世界著名的加拿大苏必利尔湖附近绿岩带中的矿床。其他如产于寒武纪—奥陶纪的加拿大的不伦瑞克矿区，挪威的勒肯、布莱克瓦斯利矿床；产于中晚泥盆世的苏联的卡拉巴什矿床；产于第三纪中新世的日本北鹿地区的黑矿矿床等，都是世界著名的铅-锌矿床。至今，太平洋中的“黑烟囱”和红海阿特兰提斯的热卤水仍在继续形成火山沉积硫化物矿泥。

摘自《国外主要有色金属矿产》

火山岩型块状硫化物（VMS）型矿床主要特征

火山成因块状硫化物矿床（VMS）属于层状—块状硫化物矿床，包括所有海底热水沉淀出的块状、似块状矿床。根据矿床含矿因素的化学、矿物学变质作用、结构和脉石特征，块状硫化物矿床分为两大类：一类是沉积喷流矿床，沉积岩或页岩型层状块状硫化物矿床，包括世界闻名的 Sulliven，Broken Hill，Mt. Isa 和 Rammelsberg 矿床。另一类就是火山成因的、与火山有关的、火山岩型块状硫化物矿床。

通过对现代地热系统及古代矿床的系统研究，已经建立了 VMS 型矿床的地质模型。

VMS 含矿建造的底部通常是次火山侵入体，它的存在导致热流体循环并发生淋滤反应。

侵入岩的顶部地层存在高温交代，包括金属淋滤、碱性交代和硅化。现代地热流体的组分与 400 ℃时水-岩平衡相一致。VMS 矿化区域内，存在不同时代的外碎屑角砾岩是局部生长断层的证据，这些断层是裂谷边缘断层或者是破火山口崩坍断层，是高温热水流体的主要通道。位于矿床之下的这些断层中发展起来的蚀变岩筒主要由局部水平渗流的热海水中形成的矿物充填。

高温富含金属的流体与围岩的水-岩反应常限于通道中心部位。沉淀硫化物组分由水深决定，沸腾降温导致流体分异，浅水（<1 500 m）海底斜坡区域以富锌的铜矿沉淀为主，强烈冷却之后则富铅。这种浅水系统通常也富含金、银。其次在氧化型洋底矿床翼部也有 Ba，Mn 这些惰性元素沉淀，同时在翼部硅质岩中，通常含有细菌分解物。

由于对现代及古代地热系统的研究，VMS 型矿床形成模式将更定量化、更精确，由这些模型形成的勘探标志明显提高了发现新矿产资源的能力。

1 VMS 矿床的一般地质特征

1.1 产出地质位置和分布

VMS 型矿床形成于各地质时代的洋底火山岩中，从现代扩张洋底、岛弧及弧后区域正在形成的

黄金地质研究所
信息室 提供

矿床到 3 400 Ma 前澳大利亚 Pilbara Black 火山岩中的矿床。这种矿床可以形成于各种构造区域，虽然矿床的直接围岩通常是火山起源的熔岩、火山碎屑岩或间接火山起源的火山碎屑，但是也有一些矿床中有火山作用的洋底沉积岩，如页岩、杂砂岩等岩石。

VMS 矿床产出的地质环境与洋底火山岩一样，都产出于板块边缘环境。显生宙以来的 VMS 矿床主要在大洋中脊分裂板块边缘（与蛇绿岩有关），或拉张的弧盆地（如纽芬兰的 Cyprus 和 Baie Verte 地区），在岛弧或大陆边缘的板块汇聚边缘（如日本的 Kuroko 矿床和西班牙—葡萄牙黄铁矿带），板内洋岛。当然更多的 VMS 矿床产于太古宙绿岩带中。

VMS 矿床不限于特定的岩石类型，但是一个地区的 VMS 矿床常产于一个地层层位或喷发旋回中（图 1）。

VMS 矿床可以形成于任何地质时代，从 35 亿

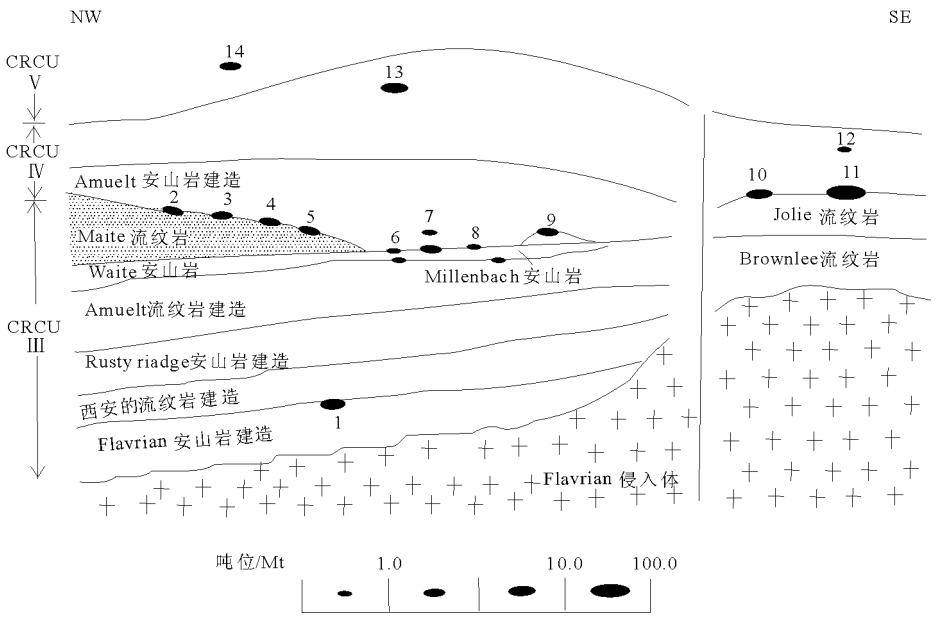


图 1　Noranda 块状硫化物地区组合剖面略图

图中展示了 Blake 河群上部的地层关系和主要 VMS 矿床所在地层的位置（根据 Spence 和 de Rosen Spence，1975；Knuckey 等，1982；Knuckey 和 Walkins，1982）；图中的旋回指 Spence 和 de Rosen Spence 在 1975 年提出的安山岩-流纹岩火山旋回

年前形成的澳大利亚 Pilbara Block Au 矿床到现在东太平洋中脊的硫化物矿床都是 VMS 矿床的典型。但是相同地质环境和岩性区域的 VMS 矿床分布有明显的区域性和时间性，例如加拿大地盾 2 650～2 730 Ma 的火山岩带中有 83 个有经济价值的矿床，而澳大利亚相似的火山岩带中仅有 2 个类似的矿床。大部分火山岩区域 VMS 型矿床趋向成群、成组出现。Sangster（1980）计算了 VMS 矿床成矿区域面积平均 850 km^2，相当于直径 32 km 的环形区域平均含有 12 个 VMS 矿床，9 400 万 t 矿石。

VMS 矿床分布受构造控制，例如，在 Noranda 和 Hokuroku 矿化区，矿床受线性构造控制。Solomon（1976）指出有 50% 的 VMS 矿床与长英质火山岩有关，如流纹岩或长英质碎屑岩。

1.2　矿床结构及矿化分带

VMS 矿床垂向上可以划分为 2 个带：上部带是在海底面上或海底下的块状硫化物矿石，下部带是直接位于块状硫化物带之下的脉状或浸染状（角砾岩筒状带）矿石，矿化角砾岩筒通常具有强蚀变。

大部分矿床含铁硫化物（黄铁矿为主）达 90%，VMS 型矿床是重要的铜、锌和铅矿资源类型。一些矿床含有可回收的银、金。世界上 VMS 是一种重要的矿床类型，例如加拿大 1988 年铜产量的 32.8%、铅的 29.4%、锌的 56.3%、金的 3.6%、银的 30.4% 来自 VMS 型矿床。Cd，Sn，Bi，Se 也是冶炼可回收的重要副产品。

图 2 表示 VMS 矿床的理想结构。典型的 VMS 矿床上部是与地层整合的块状硫化物组成的透镜层，含硫化物 60% 以上；下部是穿切地层的由热液蚀变筒中的脉状硫化物矿化组成的网脉状角

黄金地质研究所
信息室 提供

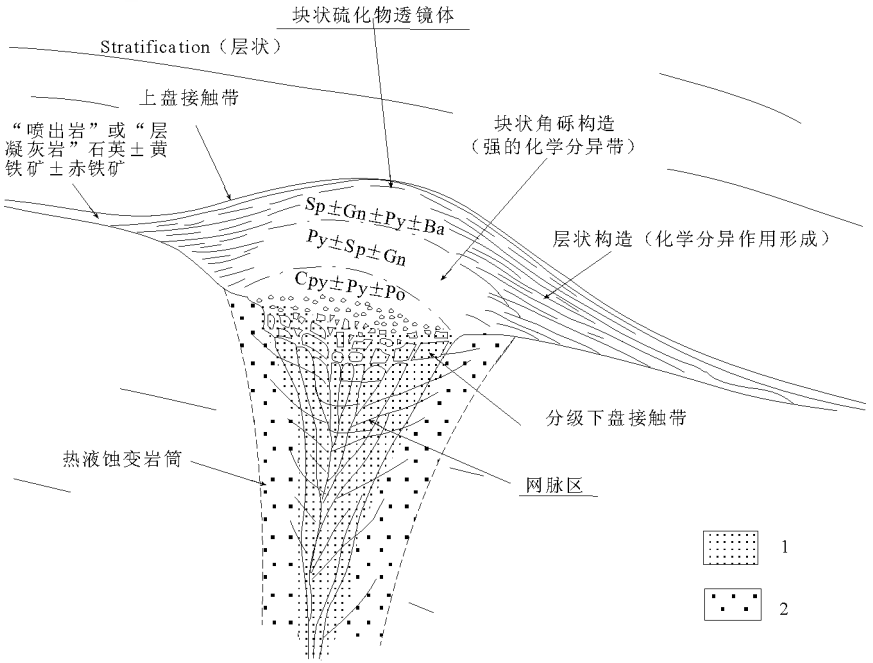


图 2　一个理想化的块状硫化物矿床必须具有的特征

1—黄铜矿±黄铁矿＋磁黄铁矿碳化物矿化作用；2—黄铁矿±闪锌矿＋方铅矿硫化物矿化作用

砾岩筒。块状硫化物透镜层顶部产状倾斜陡峭，但底部接触带逐渐过渡为网脉岩筒。一个矿床可能有多个块状硫化物透镜体连接网脉岩筒组成。其中网脉岩筒代表海底热水系统的泻流通道，而块状硫化物透镜层代表泻流筒周围或之上海底热水溶液沉淀的硫化物聚集体。

块状硫化物透镜层中最普通的硫化物矿物是黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、少量硫酸盐类矿物及斑铜矿，常见的非硫化物矿物有磁铁矿、赤铁矿、锡石，同沉积的脉石矿物有石英、绿泥石、重晶石、石膏和碳酸盐矿物。

矿石的结构、构造变化大，轻微变质的块状矿石一般为细粒嵌晶硫化物颗粒，随着变质程度增加，颗粒变粗。漏斗型矿体中，透镜体中心部位以块状、角砾状碎裂型结构为主。

碎屑状硫化物矿体的裙边围绕块状透镜体周围表现出特殊的构造，由细粒到粗粒的硫化物碎屑组成。规则的层状或微层状硫化物一般为特征的带状沉积。

VMS 矿床的最重要特征就是热液蚀变筒中化学、矿物学、矿石结构构造和变质程度的分带性。从蚀变中心向上、向外，黄铜矿/（闪锌矿＋方铅矿）值或者 Cu/Zn 值逐渐降低（图 2），其他金属矿物，如磁黄铁矿、磁铁矿和斑铜矿相对集中于网脉带中心或者块状硫化物透镜体中心基底处，其 Cu/Zn 值最高。重晶石一般在块状硫化物最外带与闪锌矿、方铅矿共同产出。虽然在硫化物带中黄铁矿分布极普遍，但是在闪锌矿高于黄铜矿的地段黄铁矿含量最高。有些情况下，薄层黄铁矿或赤铁矿、矿质烟尘或凝灰质层在硫化物基座上形成盖层，并可以作为接近矿床的岩性标志。这种沉积层是火山静止期热液活动减弱阶段的化学沉积物。一些矿床中，磁铁矿、赤铁矿含铁建造（例如 New Brunswich 地区的 Brunswich 矿床）或者锰氧化物建造（例如 Iberian 黄铁矿带）与 VMS 矿床共生。这些广泛分布的金属氧化物沉积通常位于矿化层之上，但是硫化物与氧化物矿床之间的确切关系还不清楚。

1.3　围岩蚀变

块状硫化物透镜层之下的角砾岩筒内仅周围有一个明显的热液蚀变带，蚀变规模与硫化物矿脉密度相关。Riverin（1980）和 Knuckey（1982）系统研究了 Noranda 地区的 Corbet 矿床、Millenbach 地区的 Abitibi 矿化带的蚀变特征。蚀变岩筒内部是绿泥石核心，被绢云母化环绕。绿泥石化核心以铁和磁铁矿的增加，钙、钠、硅的降低为特征，反映了在绿泥石化过程中，长英质或铁镁质火山岩中长石的分解作用。绿泥石带钾降低，但在周围绢云母带增加。另外，绢云母化带与绿泥石化带不太连续，这表明，由于成矿流体作用，从底板新鲜岩石向上到蚀变岩筒中心，蚀变强度的变化，形成了完整的分带。

黄金地质研究所
信息室 提供

有些矿床，特别是日本的 Kuroko 矿床、Cuprus 矿床蚀变岩筒的最上部存在强烈的硅化蚀变。硅质和绿泥石也是块状硫化物透镜层的成分，呈交错网脉，作为硫化物颗粒的胶结物，或作为单独的透镜层出现。硅质、绿泥石、甚至有云母存在代表热液矿物，矿物成分来自热水溶液。考虑变质作用过程，必须区分热液沉积矿物与热液交代的残留矿物（如在绿泥石化过程中斜长石释放出石英）。有一些情况下钙质碎屑岩底板中蚀变岩筒产出菱铁矿、红柱石、绿帘石，而绿泥石、绢云母则呈不规则形态分布。

VMS 矿化层之下广泛分布层状蚀变带，在 Mattabi-Sturgeon 湖地区，底板蚀变碎屑岩宽 1 km，厚几百米，以含绿泥石和十字石的流纹岩为特征，反映了区域性的钠降低、铁富集。在 Mattagami 湖地区，除了底板玄武岩顶部所有岩层都经历了区域蚀变，包括 Si，Na 的加入，Fe，Ca，Ti，Zn，Cu 的降低，导致次生长石和绿帘石-石英矿物组合。蚀变作用中活化出的元素恰是蚀变岩筒网脉中充填的富集的元素。在 Noranda 地区，矿化层下部的铁镁质熔岩、角砾岩经历了区域蚀变，上部是强硅化，下部依次是绿帘石-绢云母蚀变带。这种蚀变包括了 Al，Fe，Mg，Ti 和 Zn 的活化迁移，而在 Millenbach 矿床的蚀变角砾岩筒中沉淀富集。蚀变角砾岩筒与区域似层状蚀变带的连续性，使对不同变质事件的定义和理解复杂化。在 Kuroko 矿床，Shirozo（1974）只区分出矿体之下和环绕角砾岩筒网脉带的石英-绢云母-绿泥石化蚀变带，而只以粘土和沸石组合定义环绕蚀变中心的边缘带，一直连续到矿体上盘岩石。

一些矿床也存在顶板岩系蚀变，但是现在对于顶板岩系蚀变成因还无法解释，也许是矿体及上盘岩系沉积之后相同的成矿流体仍在活动引起蚀变（如 Corbet 矿床），或者由于成矿埋藏过程中正常地下水循环导致矿体上盘岩系地球化学和矿物学异常（如 Cyprus 的一些矿床）。

1.4 矿床类型

对 VMS 型矿床有些分类认识提出，包括根据矿床构造位置、矿化围岩组分和矿床组分的分类。前 2 种分类观点包括一些成因含意，但也有点适用的意义。

根据矿床构造位置一般强调以矿床产出构造位置或底板围岩岩性，而不是矿床本身的特征。Sillitoe（1973）划分为产于扩张中心的矿床（通常有较高的 Cu/Zn 值）和产于岛弧或大陆边缘的矿床（一般 Pb，Zn，Ag，Ba 含量较高）。

Sawkins（1976）区分为 3 种主要 VMS 矿床。

1）Kuroko 型，产于太古宙到三叠纪大洋区域汇聚板块边缘的长英质、钙碱性火山岩系中。

2）Cyprus 型，产于分裂板块边缘蛇绿岩建造上部的低钾玄武岩系中。

3）Besshi 型，产于沉积碎屑岩和铁镁质火山岩中，但不清楚其与板块构造的关系。

但是，一般板块构造理论并不能解释矿床成因，因此 Klan（1980）提出以与成矿相关的围岩岩性作为 VMS 矿床分类依据：

1）太古宙绿岩带中的长英质火山岩型矿床；

2）后太古宙钙碱性和拉斑玄武岩型矿床；

3）铁镁质火山岩型。

由于 3 种类型中包括有化学组成特征相似的矿床，因此，Hutchison（1973）提出，根据矿床的成矿元素化学组成分为 3 类 VMS 型矿床。

1）Zn-Cu 型矿床，主要产于太古宙拉斑玄武岩和钙碱性岩等不同的岩浆岩系列中。

2）Pb-Zn-Cu 型矿床，产于显生宙中性到长英质钙碱性火山岩系中。

3）Cu 型矿床，产于显生宙的蛇纹岩或拉斑玄武岩系中。

以成矿元素成分分类方法介绍 VMS 矿床，结合近代洋底热液系统的研究成果，主要用北美的研究实例与其他地区进行比较。

根据矿石组分分类简明、可靠，不必考虑构造位置的争议。

以 Abitibi 带、Bathrust-Newcastle 地区、Norwegia Caledonides 的 New Brunswick 和日本的 Green Tuff 带（表 1），4 个主要成矿省的 VMS 矿床为代表，根据 Cu-Zn-Pb 比值作图［图 3～6，根据矿床 Zn/（Zn＋Pb）］，可能划分为两大类 VMS 型矿床，即 Cu-Zn 型和 Zn-Pb-Cu 型矿床。从只表示单个矿床 Cu-Pb-Zn 主要组分的三角图上（图 3），不易区分 2 类矿床，但根据矿床所含金属吨位和吨位等值线图（图 4），就很容易看出 2 类矿床的区别。

Franklin 等（1981）提出，根据铜、铅、锌的总量可以划分 2 类矿床组，即铜-锌矿床和锌-铅-铜矿床（图 5～6），2 类矿床的分类以 Zn/（Zn＋Pb）＝0.9 为标志。

比较矿床 Zn/（Zn＋Pb）值频率图与吨位 Zn/（Zn＋Pb）频率图（图 5～6）可见，大部分 VMS 矿床 Zn/（Zn＋Pb）≈0.70～0.80（Pb-Zn-Cu 型）

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 选择区内 VMS 矿床的品位、吨位

地 区	矿床类型	矿床数量	w(B)/%			(*)	w(B)/10^{-6}		Mt
			Cu	Zn	Pb		Ag	Au	
Abitibi 带,加拿大	Cu-Zn	52	1.47	3.43	0.07	(47)	31.9	0.8	9.2
Caledonides,挪威	Cu-Zn	38	1.41	1.53	0.05	(0)			3.5
Bathurst,N.B,加拿大	Zn-Pb-Cu	29	0.56	5.43	2.17	(28)	62.0	0.5	8.7
Green Tuff 带,日本	Zn-Pb-Cu	25	1.63	3.86	0.92	(7[a])	95.1	0.9	5.8

(*): 用于计算 Ag, Au 平均品位的矿床数量; a: Green Tuff 带 7 个矿床 27 个透镜体的 Ag, Au 平均值

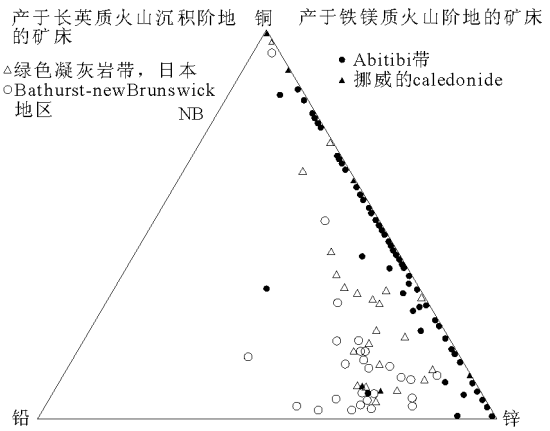


图 3 Cu-Zn-Pb 三角图

据 Abitibi 带、Bathurst 地区、New Brunswick、Norwegian Caledonide 和日本 Green Tuff 带等地的 VMS 矿床文献资料绘制的主要组分（单独矿床）

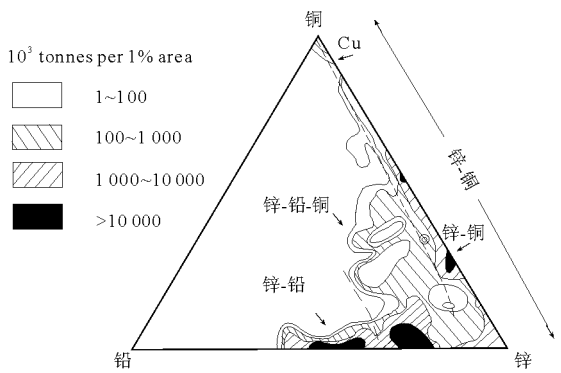


图 4 Cu-Zn-Pb 等值线图（据 Franklin 等，1981）

据图 3 中数据网格化后每 1% 面积含 Cu-Zn-Pb（千 t）绘制的等值线图，汇集了加拿大、美国、日本、斯堪地那维亚、西班牙和葡萄牙大约800个产于火山岩型和产于沉积岩型块状硫化物矿床；图中用断线分成了铅-锌，锌-铅-铜和铜-锌 3 组

或>0.95（Cu-Zn 型）。2 组矿床的重叠，有许多原因造成，矿床矿化分带保存不完整，或者原生矿床经济价值不大，都影响了本统计图的数据。

铜-锌矿床一般是整合到半整合的富铁硫化物块状矿，一般下部有脉状矿系统，通常产于基性火山岩系中，局部有长英质火山岩或沉积岩。例如 Ouebec Noranda 附近的矿床，Manitoba 的 Flin Flon 和 Snow Lake 矿床，British Columbia 的 Anyox 矿床，北东太平洋内的 June de Fuca 矿床，Explorer Ridges 矿床和中大西洋 Trans-Atlantic Geotraverse 矿床。另一些实例是 Cyprus 和 Oman 蛇绿岩系列中的矿床和日本 Shikoku 岛的 Besshi 矿床。加拿大 42 个矿床的平均（中等）规模是 530 万 t（124 万 t）；平均（中等）品位：铜 1.95%（1.60%），锌 4.23%（3.07%），铅 0.09%（0.01%），金 0.8×10^{-6}（0.6×10^{-6}），银 19.0×10^{-6}（8.0×10^{-6}）。大部分铜-锌型矿床中铅含量较少测定分析，因此统计值是相对的近似值。

锌-铅-铜（Zn-Pb-Cu）型矿床是平坦的、整合的块状黄铁矿型矿体，一般产于长英质火山岩中，下部的脉状矿体不发育。底板围岩以沉积岩为特征。在加拿大的矿床实例：British Columbia 的 Buttle 湖矿床，西班牙 Ibehrian Pyrite 带的矿床，Portugal 的 Neves Corvo 矿床和澳大利亚的 Tasman 地向斜矿床。加拿大 92 个矿床的平均（中等）规模是 560 万 t（111.7 万 t）；平均（中等）品位：

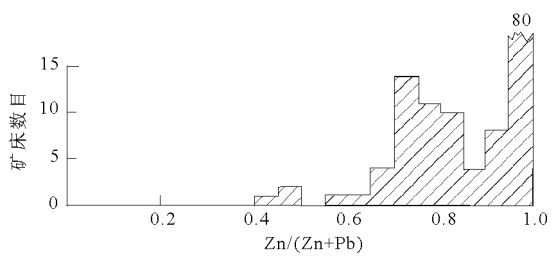


图 5 矿床频率分布图

由图 3 中独立矿体的大部分 Zn/（Zn+Pb）值绘制

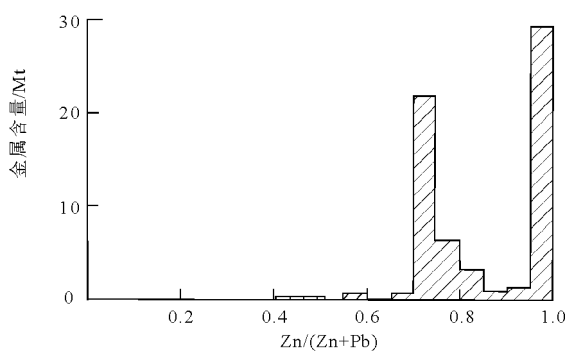


图 6 矿石金属含量累积图

由图 3 中独立矿体的大部分 Zn/（Zb+Pb）值绘制

黄金地质研究所
信息室 提供

铜 1.23%（1.01%），锌 3.60%（2.80%），铅 1.46%（0.97%），金 2.0×10^{-6}（0.5×10^{-6}），银 79×10^{-6}（57×10^{-6}）。

这种分类与 Hatchison（1973）的分类相似，只是没考虑 Cu 型矿床，考虑火山岩石化学组合或年龄，并不考虑地质环境。

这里排除 Cu 型一组是合理的，因为大部分接近 Pb-Zn-Cu 三角图 Cu 点的矿床都是出于经济效益考虑，而忽视了 Zn 和 Pb 的含量。例如 Cyprus 矿床被认为 Cu 型矿床实例，但也含有闪锌矿，有时 Zn 的含量超过 Cu，因此大部分 Cu 型矿床为 Cu-Zn 型矿床组。

其他一些矿床特征也反映了 Zn/（Zn＋Pb）划分的 2 类 VMS 型矿床的关系。例如，重晶石作为有意义的脉石矿物主要与 Zn-Pb-Cu 组矿床共生；Cu-Zn 组矿床的 Au/Ag 高于 Zn-Pb-Cu 组矿床（表 1）；硫同位素也明显分为 2 组，Cu-Zn 组矿床的硫同位素明显偏低（图 7）。

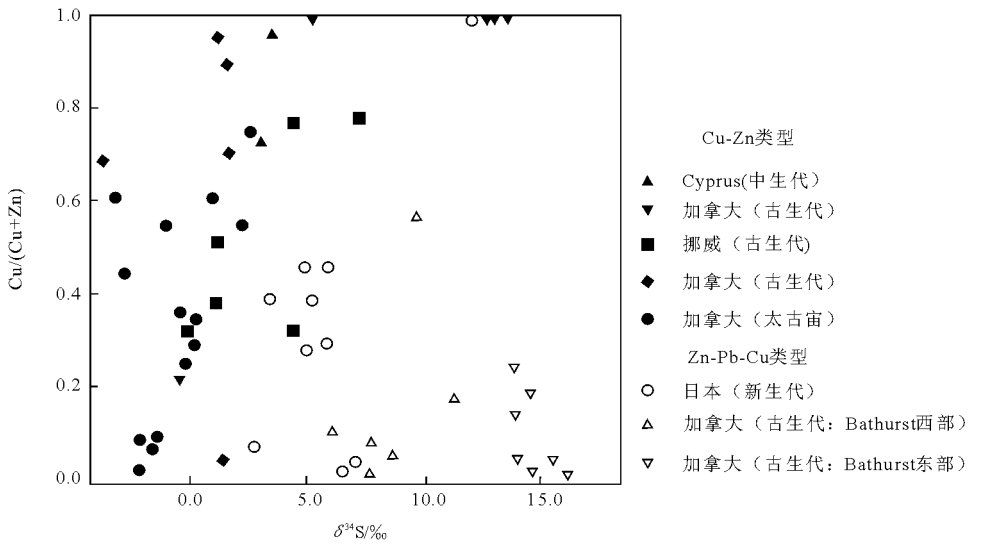


图 7　块状硫化物矿床硫化物平均硫同位素对 Cu/（Cu＋Zn）值图解

图中清楚表现为 2 组

从成因模式考虑，最有意义的是矿床类型与底板岩石的关系。Cu-Zn 型矿床一般产于铁镁质岩系之上、铁镁质岩石演生的沉积物中，而 Zn-Pb-Cu 型矿床则产于长英质岩系之上或含云母、粘土的沉积岩中。很明显，根据此认识，同一成矿区域的矿床类型是相同的。例如，没有侵入岩的 Abitibi 带有 70% 的铁镁质火山岩，24% 的火山岩风化物质的碎屑沉积岩和 6% 的长英质火山岩，该区 52 个 VMS 矿床中有 50 个 Cu-Zn 型矿床（图 7）。同样在 New Brunswisck 的 Bathrust-Newcastle 地区 Tetagouche 建造的非侵入岩系中有 53% 的沉积岩、32% 的长英质火山岩和 15% 的铁镁质火山岩，所有的 VMS 矿床都是 Zn-Pb-Cu 型。

2　铜-锌型 VMS 矿床地质特征

铜-锌矿床主要产于 2 种地质环境：1）基性火山岩区域，如太古宙绿岩带、近代或显生宙以来的扩张脊或海山环境；2）含有一定量基性火山和沉积岩的区域，如显生宙的岛弧和弧后系列中。

2.1　地质背景

2.1.1　火山岩地区　铜-锌矿床的组分变化及矿化有关的蚀变与形成矿床的水深有关。根据 Morton 和 Franklin（1978）资料，这类矿床可以划分为 2 个亚类：大于 500 m 水深形成的矿床和小于 500 m 水深浅水环境形成的矿床。

第一亚类矿床以魁北克 Noranda 和 Matagami 湖区矿床为代表（图 8），产于块状到枕状玄武岩中，矿床之下常有长英质凝灰岩层，但底板长英质岩层只有很少的量（例如 Manitobas 的 Flin Flon 矿床）或者长英组分≤30%（如魁北克的 Noranda 矿床），局部长英质穹隆直接位于矿体之下或周围。

第二亚类矿床以 Ontario 地区的 Sturgeon 湖附近的矿床为代表，这些矿床产于铁镁质和长英质杏仁状、渣状火山岩流，或者火山碎屑岩、火山角砾岩或沉火山碎屑岩层中（图 9），底板长英质岩系组成在 30% 以上。

火山岩系中产出的 2 类矿床底部附近都产出有

黄金地质研究所
信息室 提供

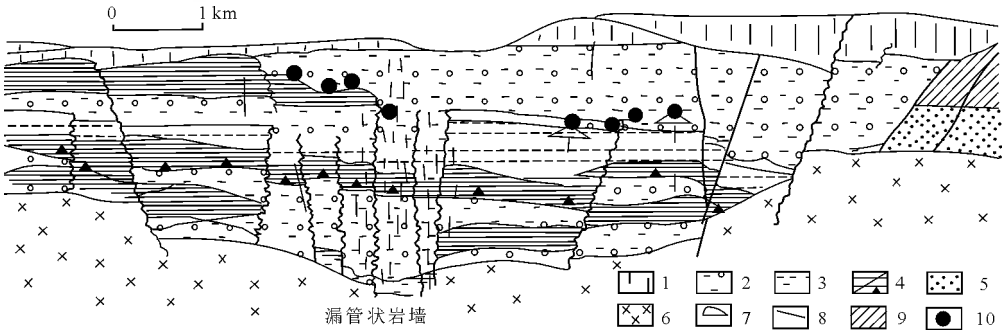


图 8 Noranda 块状硫化物地区主破火山口横剖面（据 Gibson 和 Watkinson，1990）

该剖面取向大致 SN 向，据矿井和钻探资料绘制

1—流纹岩质和安山岩质熔岩流及角砾；2—块状和枕状安山质熔岩流，少量凝灰岩或角砾；3—硅化安山岩质熔流，少量流纹岩；4—长石和/或石英斑状流纹岩质熔岩流，基底具少许的角砾；5—以长石为斑晶的流纹岩质熔岩流；6—奥长花岗质次火山岩侵入体；7—石英-长石斑岩穹起；8—2 个火山凹陷旋回接触面上的凝灰岩；9—无斑隐晶的和石英/长石斑状流纹岩；10—块状硫化物矿床

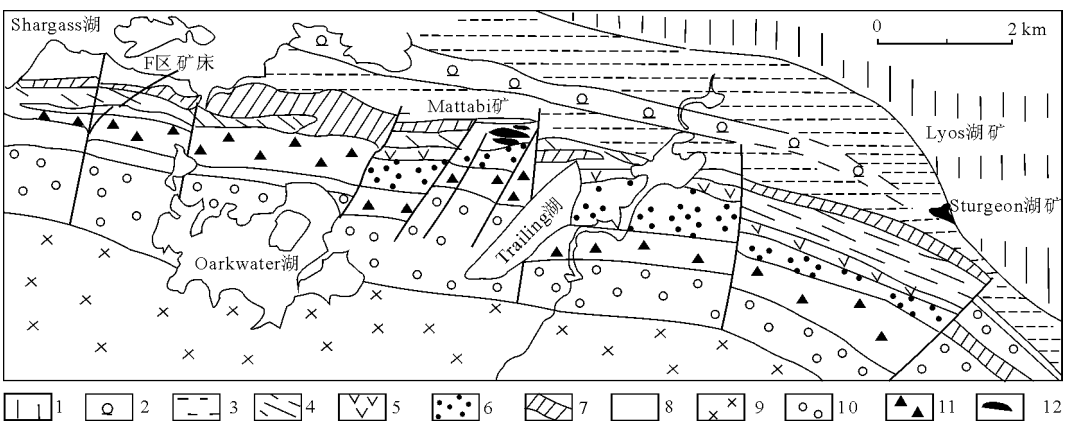


图 9 Ontario 西北部 Sturgeon 湖块状硫化物矿区地质图（据 Morton 等，1990）

该图内含了穿过 Sturgeon 湖破口的横剖面，并且该图的比例尺与图 2 相同。这 2 个图都密切地反映了穿过各自所考虑的研究区的正剖面；应注意的是 2 个区域之下都有次火山岩侵入体并有规模稍小的长英质、铁镁质火山岩分布。然而，Noranda 山地区由长英质岩流控制，在 Sturgeon 湖地区由地表的铁镁质火山渣沉积物和水下的火山碎屑流和角砾岩控制

1—长英质火山岩；2—枕状玄武岩或被状玄武岩；3—长英质火山灰；4—英安熔岩流；5—长英质浮岩或岩屑流；6—含石英晶体的长英质火山灰和浮岩质英安岩；7—辉长岩质/闪长岩质火山侵入体；8—隐晶长英质熔岩流凝灰岩；9—奥长花岗岩/闪长岩质次火山侵入体；10—地表的铁镁质火山渣、火山灰和被状熔岩流；11—双向岩屑，角砾；12—块状硫化物矿床

次火山侵入体，奥长花岗岩侵入体为主（如魁北克的 Noranda，Ontario 的 Sturgeon 湖矿床，Manitoba 的 Flin Flon 和 Snow 湖矿床），但是在 Kamiskotia 和 Chibougaan 岩系的 Matagami 湖矿床层状铁镁质侵入岩则形成矿床基底。

现代大洋扩张中脊、海山和弧后盆地中发生的现代成矿作用可以分为 2 个亚类：无沉积岩而以玄武岩为主要围岩的矿床和产于沉积岩中的矿床。产于火山岩中的矿床又可以分为 2 组：产于火山建造的活动期或早期阶段中心的小型矿床，例如南 Juan de Fuca 洋脊和东太平洋隆起的矿床；产于线状喷发的强烈火山活动期的大型矿床，例如 Explore 的 Endeavour 矿床和中大西洋脊的那些矿床。

与近代火山活动区域相关的矿床主要沿狭窄的中心式裂谷边缘断层分布，这些矿床具枕状构造，硫化物常形成胶状，与枕状玄武岩、局部席状玄武岩共生。

产于蛇绿岩系中的矿床可能产于扩张中脊的海槽中或弧后扩张建造中，这些矿床实例包括 Cyprus 的白垩系和 Oman 蛇绿岩中的矿床和 Oregon 侏罗系蛇绿岩中的矿床。这些矿床产于覆盖在蛇绿岩系中的席状岩墙和辉长岩体之上的玄武质到安山质枕状岩流中（可达几千米厚）。上述各构造位置中含 VMS 矿床的火山岩系都以不寻常的岩石成因为特征，典型的含矿围岩是经过强烈分异的岩石，这种分异或者是次火山岩浆及进入岩浆的海水强烈有效的分异作用中的结果，或者是蚀变地壳的同化作用的结果。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.1.2 沉积岩地区 通常与岛弧盆地相关的地体，主要由单调规则的火山、沉积岩系组成，并含有一些块状硫化物矿床。这种矿床包括形成于洋底-岛弧边缘、洋底-克拉通边缘，或者洋底与陆壳边缘的那些矿床。火山组分是主要的，并且主要是铁镁质火山岩，但是一些地区也有少量长英质火山岩层。沉积岩以泥质岩为主，与矿床有关的火山岩对沉积岩的比率变化较大，这种地区以强烈变形为特征，难于鉴别主要的构造关系，通常称为“Besshi型”或者“Kieslager型”。

产于沉积块状体中的Cu-Zn矿床实例是北不列颠哥伦比亚的Granduc矿床（图10），Anyox和Kutch Creek地区的矿床，Windy Craggy矿床。可能不列颠哥伦比亚西南部的Britamia矿床和北Manitoba的Sherridon矿床也是这种铜-锌矿床。Windy Craggy矿床虽然品位低，但潜力十分巨大。

产于扩张脊沉积岩中的矿床比现代火山脊中的矿床大许多。Middle Valley矿床是这类矿床的一个实例，产于Juan de Fuca中脊的北Endeavour复杂地体中，形成于1 000多米的泥质、浊积岩系中，它的下部含有30层基性岩床，红海Ⅱ号深渊中的矿床也是很大的。

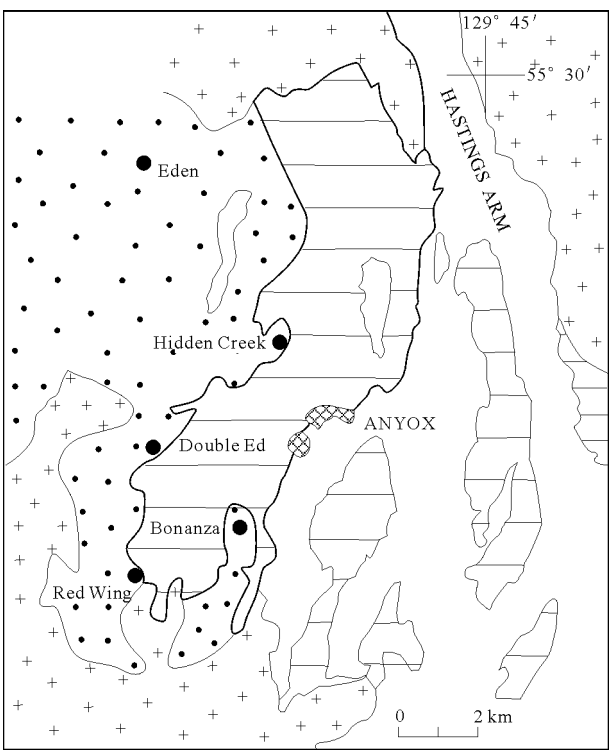


图10 不列颠哥伦比亚北部Anyox块状硫化物地区地质图
（据Alldrick，1986）
图中大部分矿床产于上盘沉积岩区（线性区）与下盘火山岩区（点型区）接触带或其附近

2.2 模式和组分

Noranda型矿床的特征产出模式（图11），一般是由60%的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿和磁黄铁矿硫化物组成的整合的茎筒状或锥形口。未变形矿床的长厚比值通常是3∶1到10∶1之间，一些大型矿床具有更大的比值。上部界面陡峭倾斜，下部界面则转变成断续的串珠状带，主要由强蚀变围岩中产出的浸染状和脉状黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿组成。主矿层之下串珠状矿带一般含有几十米具有经济价值的矿体

Mattabi型矿床是层状的，产状关系与Noranda型矿床相似。在Mattabi矿床中，虽然角砾岩筒相蚀变很强，其中的矿化却很弱，相反沉积覆盖区的矿床一般是平坦的。一些矿床显示特殊的层状或硫化物带中的层理，但有些矿床，例如日本的Besshi矿床和Juan de Fuca Ridge上的Middle Valley矿床，主要是块状硫化物。

由于高度变形，沉积覆盖区铜-锌矿床的原始长厚比难于估计，Middle Valley矿床长厚比约为1∶1，但Besshi矿床侧向延伸1 km多，厚则只有几十米，虽然沉积岩通常是泥质的，但有些地区也有火山碎屑或浊流组分。一些矿层中（如挪威的Vaiskis矿床）通常含有氧化物或硅酸盐相的建造。蚀变带不像火山岩为主区域的矿床那样发育，但一些Caladonide矿床之下通常是含有浸染状硫化物的富铁、镁带。

火山岩区域的矿床一般直接被薄层碎屑岩或化学沉积岩覆盖。这些地层可能侧向具有明显的连续性；Matagami湖背斜南翼含矿或直接覆盖所有矿床的层凝灰岩层是含有火山碎屑物的硅质黄铁矿层。Graphitic页岩覆盖在Kidd Creek矿体上，在Flin Flon附近，是Westarm矿床的赋矿围岩。除了安大略地区的Manitouwadge上盘围岩，一般含铁建造较少。在一些含矿蛇绿岩顶部出现铁氧化带（赤铁矿）；有一些可能是硫化物在海底氧化的产物；另一些主要是热液沉淀产物。

垂向上所有块状硫化物矿床矿物学上都是很简单的。矿石中至少有50%，通常有80%或更多的硫化物组成。块状矿石中黄铁矿在50%～90%，闪锌矿、黄铜矿和方铅矿约10%。有些变质矿床，如在安大略的Manitouwadge的一些矿床，含有大量的磁黄铁矿。另一些以海洋沉积环境为主的矿床（如Middle Valley和Escanaba Trough矿床）含有大量的磁黄铁矿作为主要原生矿物。

深水环境（如Noranda型矿床）形成的矿床

黄金地质研究所
信息室 提供

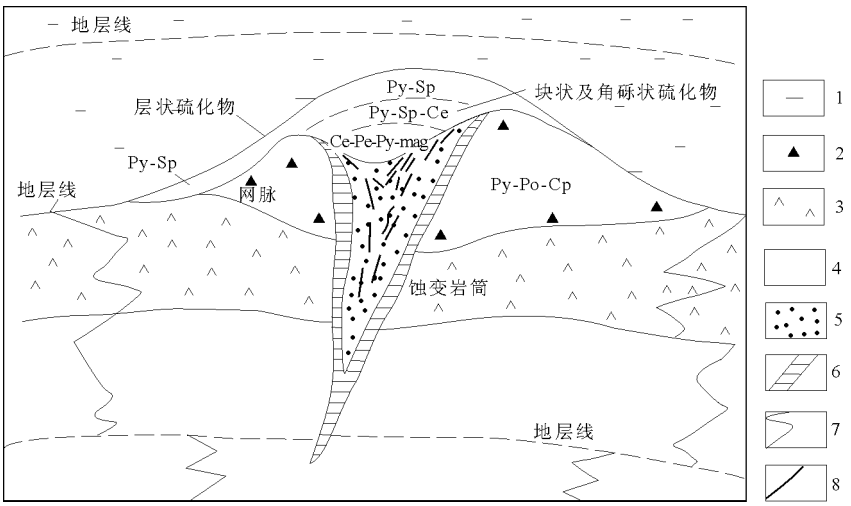


图 11 典型的 Noranda 型矿床横剖面概要图

1—安山岩；2—流纹质角砾岩；3—流纹岩（块状/斑状）；4—块状硫化物，脉状和浸染状硅化物；5—绿泥石蚀变；6—绿泥石/绢云母蚀变；7—单面蚀变区域（硅化和绿帘石化）；8—同火山期的断层

只有闪锌矿和黄铜矿作为原生矿石矿物，而浅水环境形成的矿床也含有可利用的方铅矿。奇怪的是，在最古老的矿床（>3.0 Ga）中发现有重晶石，而一些新太古代和元古宙、显生宙的矿床中都很少见重晶石。在魁北克 Ansil 矿床中有块状磁黄铁矿，南 Oregon 的 Kidd Creek 矿区和 Silver Peek 矿床有特征的斑铜矿带，在 Kidd Creek 矿床的斑铜矿带中通常含有丰富的硒矿物。脉石矿物主要是石英，绿泥石、绢云母、方解石、磁铁矿及铝硅酸盐矿物（及其相应的变质矿物）。达到角闪岩相变质矿床中，石榴子石是重要的共生矿物。脉状矿石的矿物组合也很简单，主要由黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿和磁铁矿组成。火山岩型矿床中，一般下部矿化层中 Cu/（Cu+Zn）值高，而上部矿化层中 Cu/（Cu + Zn）值低，因此 Sangster (1972) 指出，这个比值可以作为沉积相的参数。块状矿体的顶部和翼部一般富铁（黄铁矿），一般串珠脉状矿带表现为狭窄的富锌带和富铜带。

一些未变形的矿床中的 Cu/Zn 值（如 Millenbach 矿床）表明存在独立的铜通道连接矿层，甚至于在黄铁矿、闪锌矿带被破碎或局部搬运的地点也存在铜的通道，这表明这种铜通道是在闪锌矿定位之后形成的，这个通道主要由块状黄铜矿、黄铁矿组成。产于蛇绿岩中的矿床和一般沉积岩分布较广的矿床，如 Manitoba 区的 Sherridon 矿床一样，一般富铜（Cu/Zn 是 3～4∶1），而沉积岩发育的矿床中，如 Windy Craggy 矿床含有较高的 Co（≈ $1\,000\times10^{-6}$）。

一些条带状硫化物矿床的顶部和边缘存在带状（可能有层状的）硫化物。

矿体中心部位构造复杂，具有带状、脉状或似层状硫化物充填在块状硫化物裂隙中（如 Mine Gallen 矿床），块状体边缘主要由硫化物角砾（可能由坍塌的烟囱构造形成的角砾）组成。

2.3 Cu-Zn 型矿床底板蚀变

蚀变矿物组合及相关的化学变化是有用的勘查标志。有 2 种特征的蚀变类型。

1）蚀变角砾岩筒，直接出现在块状硫化物带之下，在角砾岩筒中，靠近矿体的地层和成矿流体与局部对流海水间的复杂反应。

2）下部似层状蚀变带，一般出现于块状硫化物层几百米以下，这些带可能部分地代表“储藏带”，其中的金属及硫在海底之下被淋滤出来。

在深水环境中形成的矿床之下（Noranda 型），蚀变岩筒有特征性的绢云岩边环绕的绿泥石核心（图 12）。有些矿床，如 Matagami 湖矿床，含有滑石、磁铁矿、金云母，甚至在 Manitoba 的 Snowlake 附近的 Linda 矿床含有珍珠云母。这些岩筒呈倒锥状，直径不足 1 m，在矿层下延伸几十到几百米，到断层带。在纽芬兰的 Cyprus，Omen 和 Galapagos Ridge 矿床，岩筒周围含有镁绿泥石，伊利石、富铁绿泥石，石英和黄铁矿分布于岩筒中心部位为特点。

在浅水环境中形成的矿床之下（Mattabi 型，图 12），岩筒通常已硅化和绢云母化，其次是绿泥石化，岩筒周围则以绿泥石为主。铝硅酸盐矿物、含铁碳酸盐矿物都是重要的浅水蚀变矿物组合，在深水矿床中很少出现。

黄金地质研究所
信息室 提供

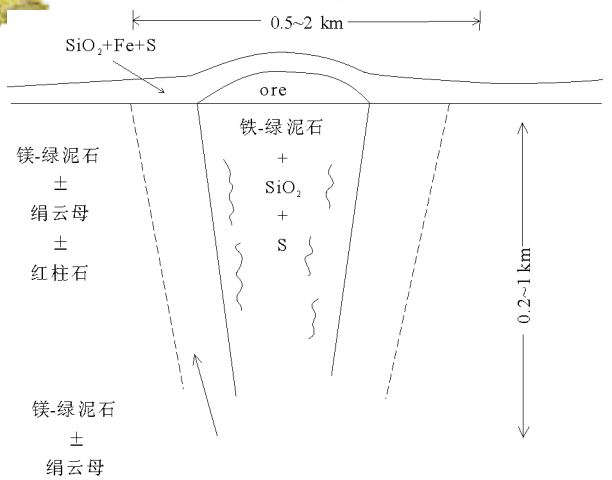


图 12　铜-锌矿床之下蚀变带综合图

正如位于 Noranda，Cyprus 和加拿大地盾的 Proterozoic 等矿床；注意图中的镁-绿泥石±绢云母带向中心部位渐变为铁-绿泥石＋SiO_2＋S 带，向最外部渐变为镁-绿泥石±绢云母±红柱石带

一些块状硫化物矿床之下，可以见到似层状蚀变带，其侧向延伸几千米，一些矿床之下几百米处存在有几百米厚的石英-绿帘石化蚀变带。Spooner 和 Fyge（1973）认为，意大利东 Liguria 和 Cyprus 蛇绿岩系中下部枕状岩流和席状岩脉中含有绿帘石、阳起石和石英的蚀变带是由于热对流形成升温造成的。

绿帘石-石英带中金属被贫化，它们代表了在低水-岩比条件下的高温热液（≈400 ℃）交代作用，其中金属和硫被淋滤进入到成矿流体中。

直接出现在一些沉积岩系列或火山岩系列矿床之下的各种碳酸盐化及热蚀变层中可能伴随着钠亏损，例如 Mattabi 型矿床之下，瑞典的 Bergslagen 地区的一些矿床，下盘围岩中有浸染状到块状碳酸岩（如 Garpenberg），Zincgruven 的一个矿床就是碳酸岩中的硫化物矿脉（图 13）。

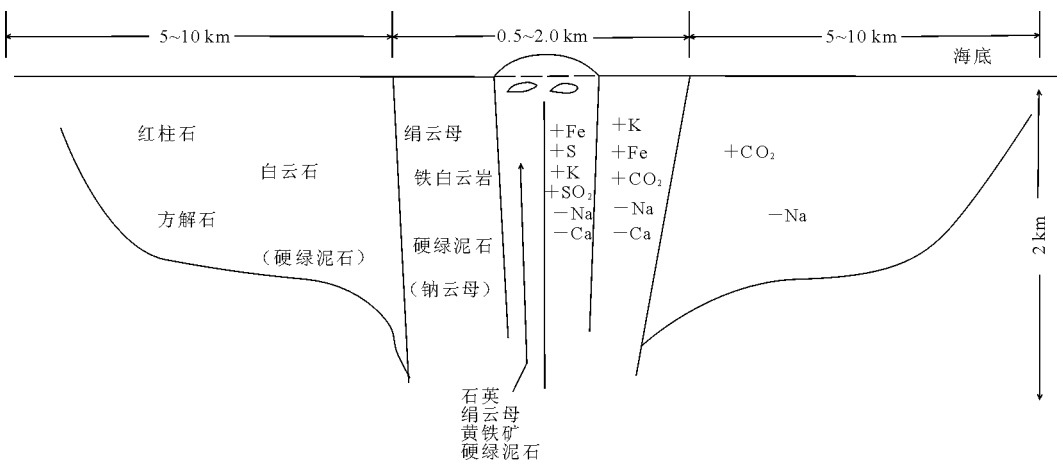


图 13　靠近锌-铅-铜矿床的蚀变带综合图

正如 Mattabi 矿床、Ontario 及其他受长英质凝灰岩、角砾岩、铁镁质火山渣和席状岩流顺序控制而形成的矿床一样；靠近主蚀变岩筒，蚀变分带不易区别，钠亏损在侧向上扩展，在垂向上却被控制在几百米之内，在底盘普遍发育的碳酸盐交代蚀变；括弧里的矿物较少出现

在 Sturgeon 湖区一些矿床之下碳酸盐化交代侧向可以延伸几十千米，深几百米。这些蚀变带可能代表了一个热液隔挡层，这可能是向下渗透的海水逐渐升温形成的。由于碳酸盐矿物结晶导致内部孔隙被充填，相反由于下伏岩浆岩和底板地层中有机物热分解来源的 CO_2 的加入，可能导致碳酸盐分解形成渗透孔，如 Bergslagen 地区的一些碳酸盐化层。

3　Zn-Pb-Cu 型矿床地质特征

这种矿床通常产于显生宙，有双峰火山岩的岛弧区，矿床底板岩系以长英质火山岩为主，伴生的沉积岩层可有可无（如不列颠哥伦比亚的 Buttle Lake 地区，图 14）。矿床可以在长英质火山岩底板上（如日本的 Hokuroko 地区，纽芬兰的 Scandinavian Shield 和 Buchans 地区），也可以在既有长英质火山岩又有厚层沉积岩底板基础上形成（如 New Brunswick 的 Bathurst 地区）。后一种矿床与沉积岩系中的 Cu-Zn 矿床产出的地层环境相类似。但是 Zn-Pb-Cu 矿床底板很少或没有铁镁质火山岩，例如在西南太平洋的 Lan 盆地和日本冲绳海沟发现的 Zn-Pb-Cu 矿床是现代 Zn-Pb-Cu 矿床实例。

3.1　地质背景

3.1.1　火山岩地区　最知名的火山岩地块是日本

黄金地质研究所
信息室 提供

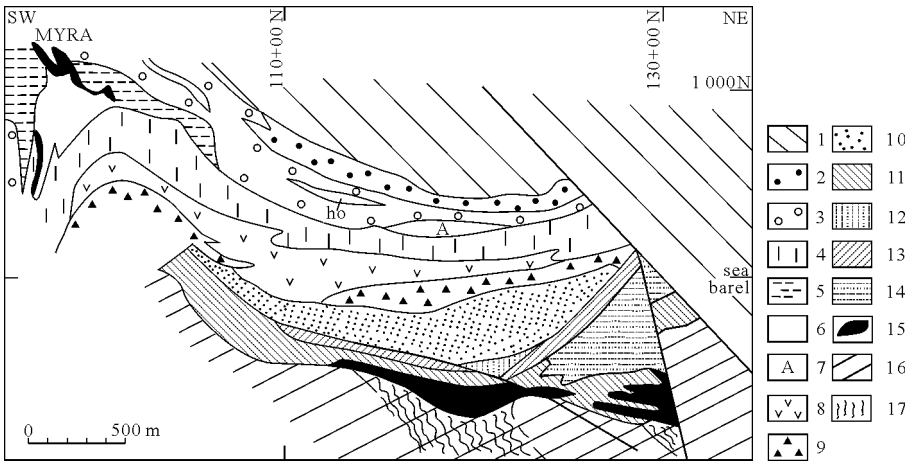


图 14　不列颠哥伦比亚 Buttle 湖地区上盘矿床横切面图（据 Juras 和 Pearson，1990）

这是一个与 Kuroko 相似的典型矿床

1—Thalwood 建造；2—Myra 建造——上部流纹岩和铁镁层；3—Myra 建造——无差异的上部地层；4—Myra 建造——无差异的带间地层；5—G 流动单位；6—Lyax-Myra-Price 层，G 区（h—上盘区域，c—燧石）；7—SE-安山岩；8—较深混合火山碎屑岩；9—矿体碎屑角砾岩体；10—上盘H-W安山岩；11—H-W层；12—H-W层的英安岩；13—H-W层中泥质岩；14—H-W层中石英-长石斑状流纹岩；15—块状硫化物；16—Price 建造；17—与硫化物相关的热液蚀变

的 Hokuroku 地区，这个绿色凝灰岩区域是一个含有双峰岛弧火山岩和泥岩的 13 Ma 前的盆地环境。有关该地区 Kuroko 矿床的大部分论文都认为其与加拿大类似的矿床（如纽芬兰的 Buchans 矿、不列颠哥伦比亚的 Buttle 湖矿床）环境相似，还有 Tasman 地向斜的一些矿床也类似。但是加拿大和澳大利亚的 Zn-Pb-Cu 矿床都经历了强烈变形，因此 Hokuroku 地区的 Zn-Pb-Cu 矿床特征具有代表意义。

这些矿床的底板岩系主要是钙碱性长英质斑状火山凝灰岩、流纹岩和一些长英质沉碎屑岩。一些矿床底板附近可能出现玄武岩（如 Buchans 和 Buttle 湖），大部分含矿岩层可能是海底破火山口环境沉积物，一些矿床是在岛弧形成的扩张期形成的，时间上与破火山口复活相关。

3.1.2　火山-沉积岩地区　最大的 Zn-Pb-Cu 型矿床是产于南葡萄牙和西南西班牙下石炭统 Iberian 黄铁矿带的矿床（如 Neves Corvu），加拿大一些最典型的实例是 New Brunswick 的班珠尔区、Ontario 的 Sudburg 盆地、不列颠哥伦比亚的 Omenica Crystalline 带以及 Coast Batholith 区的一些地带。平面延伸大，缺乏强烈的蚀变，与沉积岩共生，这些特征使得产于火山沉积岩中的 Zn-Pb-Cu 矿床与岛弧 Zn-Pb-Cu 矿床相似，但 Zn-Pb-Cu 型矿床一般产于长英质火山岩系中。例如，Bathurst Camp 区的矿床有几百米厚的长英质凝灰岩作为直接的底板围岩，其下则是几千米厚的杂砂岩或泥页岩。

这些地区的 7/30 个矿床顶板有富铁建造。大部分矿床上盘围岩中有玄武岩。Van Staal（1987）认为，Tetagouche 岩组是一系列俯冲碎片的一部分，这些俯冲碎片包括近底部的蛇绿岩碎片和上部的岛弧火山岩碎片。Van Staal 解释 Bathurst 地区这些含 VMS 矿床的地层是南东岩浆岛弧弧后盆地环境形成的。Lapetus 海使这个岛弧与北美克拉通向北西分开。

3.2　模式与组分

火山岩区的矿床发育很好的层状带、透镜带、块状体，下部是垂直发育的管筒带（图 15）。Lambert 和 Sato（1974）描述了 Kuroko 矿床分带，从底向上依次是 1）硅质黄铁矿＋黄铜矿＋石英网脉矿带；2）石膏＋硬石膏＋黄铁矿＋黄铜矿＋闪锌矿＋方铅矿＋石英＋粘土层状矿带；3）层状黄铁矿＋黄铜矿＋石英矿带；4）黄铁矿＋黄铜矿＋闪锌矿＋重晶石＋石英层状矿带；5）闪锌矿＋方铅矿＋黄铜矿＋黄铁矿＋重晶石层状矿带；6）薄层局部含少量方解石、白云石和菱铁矿的纹层状重晶石矿带；7）薄层含铁燧石岩。Buttle 湖矿床和其他一些矿床都存在类似的分带性。

这种矿床一般存在机械破碎角砾岩单元，特别是在纽芬兰的 Buchans 矿床，组成矿体的 50%。大部分其他矿床角砾岩是在原始喷发口形成的内源丘基础上作为硫化物滑塌物形成的。Buchans 硫化物角砾岩平面延伸几百米以上，表明这些矿床是

黄金地质研究所
信息室 提供

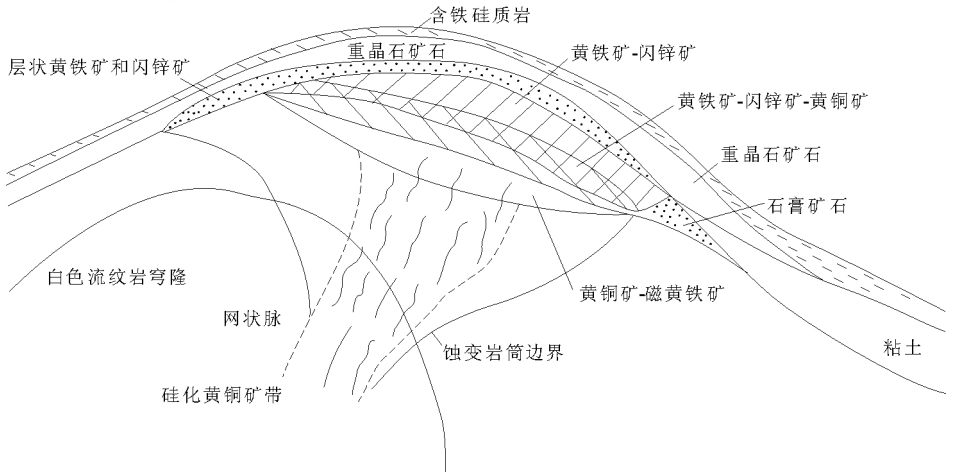


图 15　锌-铅-铜主要矿带典型横剖面（据 Eldridge 等，1983；Lambert 和 Sato，1974）

在陡倾斜坡上形成的，或者是沉积后马上被迅速隆起。

沉积岩区域的矿体，如 Bathurst 矿床，是平坦的侧向延伸矿床。这些矿床也表现有原生金属分带性，虽然比火山岩区矿床分带性不显著。Luff（1980）描述了 Brunsuick 12 号矿体的 3 个带：1）矿体底部和南部，具有少量闪锌矿、方铅矿（局部有黄铜矿、磁黄铁矿）的块状黄铁矿带；2）主矿带，特征的层状闪锌矿＋方铅矿＋黄铁矿，含微量的黄铜矿和磁黄铁矿；3）上部黄铁矿带，由块状细粒黄铁矿组成，含有微量闪锌矿、方铅矿和斑铜矿。

在火山岩地区和沉积岩地区的矿床顶板中通常存在富铁岩石，有 2 种成因类型的富铁岩石。由于硫化物在海底风化形成的一些含铁层，为层理不发育的块状氧化物层。另一种是低温热液沉积形成的富铁硅质岩，这种低温热液是热液活动的初始阶段或终止阶段。Kuroko 矿床顶部的含铁硅质岩带、Bathurst 矿床上部的磁铁矿含铁建造是这种低温热液沉积的实例。

3.3　矿石矿物组成与结构、构造

Zn-Pb-Cu 型矿床矿物组分较 Cu-Zn 型矿床更复杂，除了黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿外，重晶石也常见，特别是产于火山岩系中的矿床，如 Buchans 和 Buttle 湖矿床。在 Bathurst 矿区，重晶石稀少，而存在少量的硫酸盐、毒砂和黄锡矿，非硫化物矿物以石英为主，含有绿泥石、菱铁矿、方解石和白云石。大部分 Zn-Pb-Cu 矿石是细粒和嵌晶结构，这导致选矿回收的困难。相反，大部分 Cu-Zn 矿石都是粗粒结构，更易于开采。

3.4　底板围岩蚀变

与 Zn-Pb-Cu 矿有关的蚀变，包括加拿大的一些矿，都是以日本 Hokuroku 地区的矿床为特征的（图 16）。这些矿床下部是否存在似层状蚀变带尚不知晓或未见描述。但是，在日本难于获得下部岩层，在 Buchans 和 Buttle 湖区以及 Tasma 地向斜中复杂的构造变形导致下部岩系被移位。Ijima（1974）等描述，Hokuroko 地区存在 4 个蚀变带（图 16），蚀变最强的带是第 4 带，直接位于矿体之下，由具有少量绿泥石的硅化、绢云母化岩石组

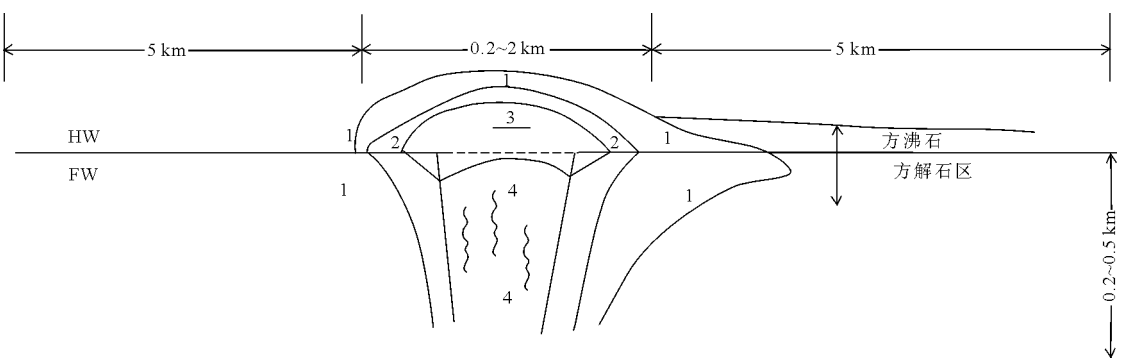


图 16　直接与 Kuroko 型锌-铅-铜矿床共生的蚀变（据 Shirozo，1974）

1—蒙脱石、沸石、方石英区；2—绢云母、绢云母-蒙脱石混合层、铁-镁质绿泥石、少量长石区；3—绢云母、粘土混合层区；4—石英和绢云母区

黄金地质研究所
信息室 提供

成；第 3 带含有绢云母、镁绿泥石和蒙脱石，没有硅化。第 3，4 带都没有长石。第 2 带由绢云母、混层的蒙皂石和长石组成。第 1 带沸石（特别是方沸石）为主要矿物，含有蒙脱石。在这 4 个带之外，火山岩受到次生低温交代作用，形成斜发沸石和丝光沸石。

从上到下，在一些矿床之下，变质变形混淆了 1 到 3 带蚀变矿物组合。如在 Buttle 湖地区，第 4 蚀变带为主，也有碳酸盐化，与 Hokuroko 矿床相反。虽然与 Cu-Zn 矿床比较，Zn-Pb-Cu 矿床之下绿泥石蚀变不发育，但在澳大利亚新南威尔士州的 Woodlawn 矿床下部蚀变管道中却发育绿泥石化蚀变。沉积岩系中 Zn-Pb-Cu 型矿床之下的蚀变是局部发育的绢云母-硅化蚀变，有些 Zn-Pb-Cu 型矿床之下根本见不到明显的蚀变带。

4 矿床成因模式

根据 20 世纪 50 年代后期建立的成因模式，块状硫化物矿床是在海底或近海底从热液流体中由于硫化物和硫酸盐矿物的同生积累形成的。有些证据支持这种成因模式：典型的层状特征，上部倾斜的产状，块状硫化物上部直接盖层是层理发育的化学沉积岩，其中含有大量热液烟囱残片；局部有经过搬运的硫化物碎屑层；并且强蚀变和管状带几乎全部限制在硫化物底板岩层中。具有块状硫化物沉积的现代海底活动烟囱系统的发现，为这种成因模式提供了更有利的证据，而不容再有质疑。Lydon（1988）考虑了一些成因模式的形成深度，这里进行总结。这些成因模式的基本原则对 Cu-Zn 型矿床和 Zn-Pb-Cu 型矿床都是适用的（图 17）。

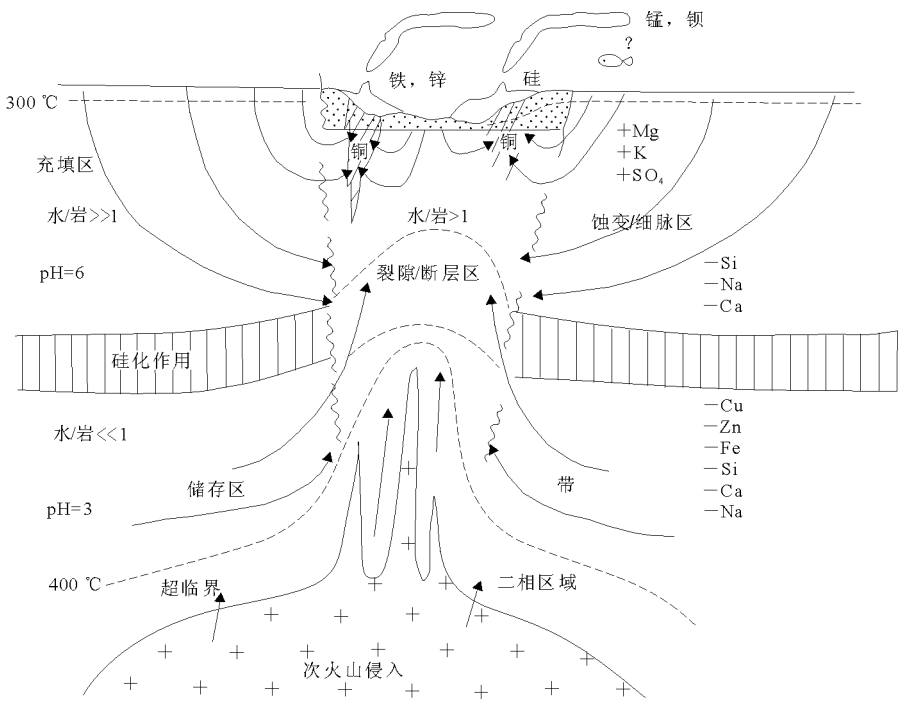


图 17 VMS 产生热液系统的模式

该模式结合了所有 VMS 亚类的要素，图中“+”区为次火山岩侵入体，它可能为热液流体提供了金属元素和气体；块状硫化物矿床之下的黑色格状区域为蚀变岩筒；铜则沉淀在岩筒内和块状硫化物堆的核部；该图沿控制热液排放的断裂系统垂向绘制

4.1 热流体形成

含矿热水流体的形成机制可以从矿床下盘围岩深部的观察及高温水-岩反应的实验结果来解释。现代流体资料只是用于解释形成 VMS 矿床的古流体。

4.1.1 流体来源 成矿流体的来源可能是循环的海水和岩浆水。从现代海底烟囱流出的热水流体被认为是改造过的海水。海水渗入热的洋壳，伴随着 Mg，Sr，Ca（由于镁硫酸盐、石膏、粘土矿形成的结果）降低及在高温条件下与深部洋壳的反应而升温。除了高盐度红海卤水（它是正常海水盐度的 7 倍）和与蒸发岩反应的流体的盐度，大洋中脊流体的盐度相当海水盐度的 20% 的低盐流体（由于蒸气相凝结形成的流体，如在 Axial 海山流体烟囱

黄金地质研究所
信息室 提供

观察到的流体），到接近正常海水盐度（东太平洋隆起和 Juan de Fuca 中北部流体烟囱区），到几乎相当于海水 2 倍的盐度流体（南 Juan de Fuca 区）。实验资料及矿体下部似层状硅化、绢云母化蚀变带的观察表明，在 350～400 ℃条件下海水与玄武岩的作用足以引起其 pH 值降低到从岩石活化金属进入流体。实质上任何火山岩或不成熟的沉积物都含有足够的金属以形成含矿热水流体。似层状带硅化作用明显降低了金属的含量，只要有几百平方千米的这种蚀变作用，与在 Noranda，Matagami 湖和 Snow 湖所观察到的蚀变面积相当，就很容易提供形成一个大型矿区所需的金属量。不同矿化区，2 种 VMS 型矿床（Cu-Zn 型和 Zn-Pb-Cu 型）之间矿化品位明显不同，可能反映源区岩石金属丰度差异。

2 个地质条件相似的矿床之间的区别，如 Noranda 和 Sturgeon 湖矿床，可能与影响流体上升和沉淀的温度及混合条件相关。从沉积岩或长英质岩石中淋滤金属和硫的温度比从玄武岩中淋滤的温度要低，因为沉积岩和长英质岩石可以使流体在较低的温度下降低 pH 值。

相当海水盐度的热流体在 385 ℃时很活跃，并可以快速上升到海底。因此，底板围岩中发生的高温反应带的鉴别对具有块状硫化物成矿潜力区域有重要的指导意义。

盐度异常及碳、氧同位素（一些热流体有较高的 CO_2，^3He 含量，Galapagos VMS 矿床岩浆分异中，由于不混溶硫化物流体的脱气及分异导致硫的流失）资料表明，有岩浆来源的流体。

岩浆流体虽然只占流体量的一小部分，但它提供金属的量却很大。由于铁镁质岩浆中水含量少，因此铁镁质岩浆中分离出的含金属热液流体量是有限的，而更重要的是长英质岩浆中分离出的含金属流体。在岩浆侵入地壳或冷却过程中海水可能进入岩浆房。这种海水对成矿有重要作用。

这种机制已被有关斑岩铜矿的文献所论述。Urabe（1985）就注意到高铝花岗岩岩浆也许是提供含 Zn，Pb 成矿热流体的重要岩浆。

John W. Lydon 认为有 3 种流体来源类型，即岩浆水、海水和建造水类型，对应于不同的地质构造区，流体来源不同（图 18）。

4.1.2 热 源 Cathles(1981,1983)解释了形

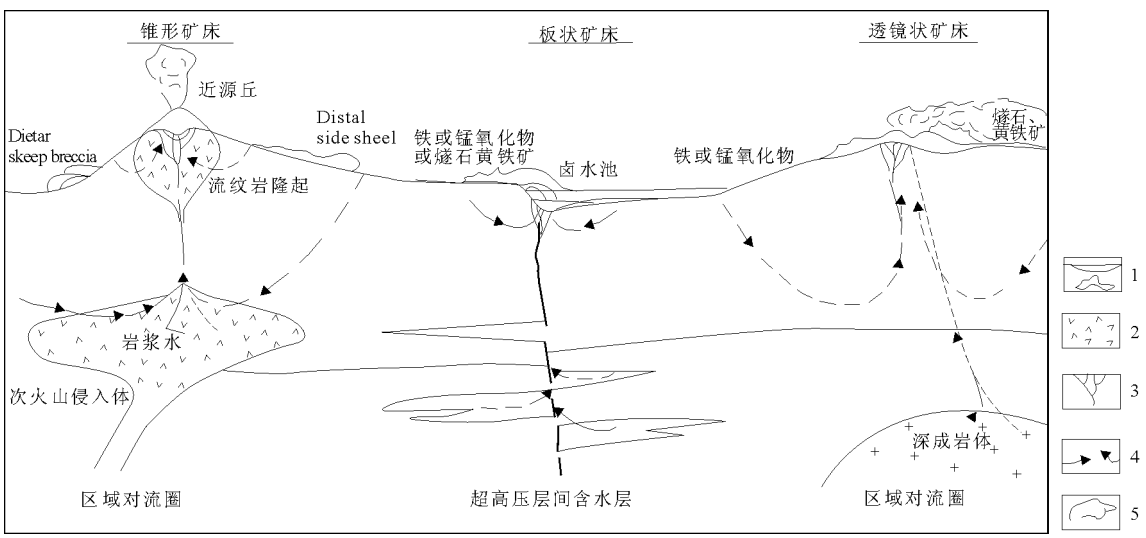


图 18 VMS 矿床产出环境与成矿流体来源

1—层状矿；2—角砾矿；3—网脉状矿；4—热液流动；5—热液柱

成热液系统的热源。在反应带要使流体温度达到足以使流体能够分解相当的金属（至少到 $n\ 10\times10^{-6}$），直到形成矿床，就需要足够的热量。

这个反应带（Hodgson 称为“热藏”）获得温度的能力也要求足够的水文隔热以防止由于与下渗的冷海水的混合而过度冷却。Cathles 估算认为，形成 Hokuroko 盆地所有矿床所需的热量只能从≥169 km^3 的长英质岩浆房获得。Noranda 矿床要求岩浆房≥78 km^3。利用 Cano 等（1985）提出的参数可以估算，形成含有 30 Mt 硫化物中等矿床要求 300 km^3 的岩浆房提供热量。相似体积的侵入体与大部分加拿大太古宙、元古宙绿岩带中 Cu-Zn 矿相一致。

对于有沉积岩为底板岩系的弧后、弧间、消减

黄金地质研究所
信息室 提供

区域矿床热量的提供还有较大的疑问。

在 Middle Valley 的沉积厚度＞1 000 m，提供了自然的水文热绝缘层，明显降低了来自下部洋壳冷却中的热散失速率。对于侵入体作为热藏的必要性还不太清楚，但是在 Middle Valley，沉积物剖面下半部含有大量岩脉，表明这个地区相对于大型硫化物矿床的形成可能有大规模的岩浆活动。这些岩浆显示稀土（明显的负 Eu 异常）和主元素分异趋势，表明通过蚀变和海水的盖层的热传导，造成迅速的热散失。

在一个古次火山侵入岩中已见到了这种类似的分异模型。在 Guaymas 盆地和 Escanaba Trough，一些小岩脉本身的体积规模不足以提供形成一个大型地热系统所需要的所有热量，这表明，在沉积盆地底部可能有大型侵入体存在。在 Middle Valley，碳氧同位素资料表明，不存在活动的脱气岩浆房，但是在 Escanaba Trough 则可能存在这样的岩浆房。

4.1.3 隔水顶板　正如 Hodgson（1977）所指出及 Kappel（1989）研究大洋中脊区域所说明的，块状硫化物形成过程中一个非常重要的因素是存在一个对热液作用带上部的隔水顶板。这个隔水顶板有效地限制流体在储层带中，防止由于分散造成轻热液流体溢失。这个隔水板可以有多种形式，上述的产于 Cu-Zn 和 Zn-Pb-Cu 矿的弧后或消减区沉积物可以作为隔水层。覆盖在铁镁岩系上部的块状海下火山灰泥或长英质岩流，如在 Matagami 湖、Sturgeon 湖、Snow 湖区，都相当于隔水顶层。在 Sturgeon 湖地区，海下碎屑岩流只是部分连结，因此有流体分散流失。在底板岩层中，热液系统本身也可能形成一个隔水层。例如，下部由硅化、绿帘石化、钠长石化和透闪石组成的似层状蚀变带就是形成原始热水流体的良好隔水层。

这些隔水层包括最上部层的渗透硅化作用，有效地胶结封住了岩石孔隙的最上部。浅水区域与 Cu-Zn 矿床有关的广泛的碳酸盐化蚀变，例如，Sturgeon 湖、Ontario 以及 Slave 省的 Hackett 河区域，这些岩石中的碳酸盐矿物充填了岩石中碎屑间的孔隙，降低了穿层的渗透性。

矿层下部似层状蚀变带作为高温水-岩作用的标志比作为潜在的储层盖更重要。明显的硅化岩石只是这种水-岩反应的一部分。如 Taylor（1985）表明，围绕大型次火山岩侵入体周围火山岩的^{18}O大面积降低，表明了其与逐渐升温的海水间的强烈作用。

这种区域异常提供含矿热流体活动的证据，也提供了 VMS 成矿区域在成藏规模和成矿潜力上的标志。

4.2 迁移沉积机理

大多数东太平洋隆起，Juan de Fuca 洋脊的地热区，以及中大西洋脊区域的一些海底烟囱来源的流体组分已被分析，但是沉积覆盖洋脊区域的流体很少研究，尽管这些资料对 Escanaba Trough 和 Guaymas 盆地烟囱是有用的。

所有现代海底热流体成分资料表明，Mg 含量近于 0，这可能是由于氢硫酸镁的溶解度降低及玄武岩的交代变质作用，Mg 完全从渗入反应带的逐渐升温的海水中排出造成的。这种假设与 Seyfried（1985）的实验资料和流体组分观察资料完全一致。

Endeavour 洋脊流体的最高温度接近 400 ℃，其他位置的最高温度是 350 ℃，但在南 Juan de Fuca 脊、Axial 海山、Explorer 脊和其他汇聚型洋脊的流体温度则较低。

4.2.1 流体组成　流体组分有较大差异：1）盐度范围宽，从相当海水盐度的 20% 以下到与海水盐度相当，甚至相当海水盐度的 2 倍；2）Zn≤59 mg/kg，Fe＞100 mg/kg；3）SiO_2 含量约 1 000 mg/kg；4）25 ℃时 pH 值约为 3.5；5）在 Axial 海山气相和液相流体中都含有几乎相近的 Au，H_2S 和 As，但气相流体中没有贱金属；6）实际上所有流体在迁移前就部分冷却，有些组分在冷却过程中沉淀下来。

4.2.2 流体卸载机理　作为地热流体导管的断层、破碎带都是构造作用形成的，一些地区有特征的裂隙分布形式，Merton（1990）指出，Mattabi 矿床之下的火山喷发同生断层中有异常厚的、粗粒同生滑坍矿床产出，并且具有铝硅酸盐蚀变。

通过一个地区系统填图可以确定出火山喷发同生断层的存在，通常是在矿床发现之后才确定是否存在这样的同生断层，对于勘查程度较高的地区，可以很好地利用同生断层的识别标志。

4.2.3 蚀变和脉状带建造　所有块状硫化物型矿带之下的脉状带都是富含铜的，实验和热动力资料表明，在高还原型热液流体中随温度的降低铜溶解度降低的速率比锌、铅降低的速率要快，这样，接近海底热流体传导性冷却将引起斑铜矿的沉淀，形成脉状铜矿带，并且不与周围氧化型海水混合。虽然在块状矿石沉积带很容易发生与海水的混合，但在之下的脉状构造带很难发生与氧化性海水的混合。来自上升热水流体的热能将导致块状硫化物带

黄金地质研究所
信息室 提供

之下充满海水的裂隙中有硬石膏沉淀（因为热降低了硬石膏的溶解度），这表明周围的海水含有丰富的溶解硫酸盐。由这种机制沉淀的硬石膏充填这些裂隙并有效地封死了新鲜海水可能进入的通道。

脉状带中的蚀变组合也明显不同，Mattabi 型 Cu-Zn 矿床之下出现硅化交代，还有 Cyprus Oman 和 Galapagos 裂谷中与蛇纹岩有关的矿床之下都出现有硅化蚀变。

在 Noranda 型矿床和一些 Zn-Pb-Cu 型矿床之下广泛发育绿泥石化蚀变。现代海底热流体一般含有丰富的硅，相对常温海水是过饱和的。通过冷却以非晶质形式或以方石英（如在 Galapagos 蚀变带）形式沉淀硅质可能很慢，因此硅质沉淀的动力学机制更重要。因此在流体缓慢流动的区域，由冷却导致的硅质沉淀更有效。沸腾也可以促使硅质沉淀，这可以解释浅水环境形成的矿床之下广泛硅化蚀变的原因，如在 Mattabi 型矿床。广泛的镁绿泥石化蚀变可能与海水进入海底裂隙区域的速度有关，或者与热流体中 Mg 含量有关。现代海底热流体中缺失 Mg 的现象与深部层状蚀变带中主要的硅化蚀变区 Mg 的大量流失相一致。根据对流模型在高孔隙度的区域海水可能迅速下沉，由于与围岩的反应，其中 Mg 流失。对于太古宙矿床之下的蚀变，这个机制的解释是有效的，由于大气圈缺氧，太古宙海水可能比古生代及年轻海水含的硫酸盐少，因此，太古宙（任何时间、地点海底水都是还原的）Mg 不可能通过形成镁硫酸盐流失，但有利于形成镁蒙皂石和镁绿泥石。正如 Lydon（1985）所注意到的，在导管坍塌带随着热流体上升，裂隙（通道）带 Mg 的含量可能增加，以这种方式，矿床形成阶段蚀变管道的物质组分可以被确定。

即使在 Galapagos 现代实例中，镁硅酸盐也比核心的 Fe-S-SiO_2 蚀变带形成晚或者环绕其周围。

4.2.4 *硫化物沉淀* 由于热流体的迅速冷却，硫化物沉淀在海底或接近海底处。作为主要的硫源，海水硫酸盐的还原作用并不重要。Haymon（1983）解释了洋中脊单个烟囱中海底硫化物的沉淀过程，烟囱喷口的初始沉积物是起源于海水的硬石膏，随着烟囱长高，粗粒硬石膏晶体的孔隙积累物被与海水混合的热液渗透。硬石膏的过度生长和更新相结合导致烟囱的分带性，特别是喷出口内侧依次具有 Isocubanit 或富黄铜矿层，闪锌矿±纤锌矿＋黄铁矿＋黄铜矿＋硬石膏±斑铜矿层和白铁矿＋黄铁矿＋闪锌矿＋硬石膏＋硅质±含表生有机质的重晶石层。单个烟囱喷口的生命很短，流体通过大多数烟囱绕曲流动，具有多个喷口的独立烟囱通常从相距几千米的单个喷口中冒出黑烟（来自高温流体）或清水（来自剩余流体），表明在热流体上部存在有复杂的垂向分带系统。

还不知道烟囱基座内部的组成，在其外翼黄铁矿为主。海底火山岩区形成的最古老矿体内部，Galapagos 矿床和 12°N 海山区的矿体内部，黄铜矿交代了大部分先生成的硫化物。初期形成的基座可能是出现在烟囱坍塌物上，并形成热流体连续流动硫化物碎屑堆积物。碎屑物被充填，硫化物碎屑被胶结，一个基座可能通过充气膨胀开始生长，或者通过复杂的不规则的沉淀、溶解机制过度生长。由于烟囱或者喷出口中较大的温度梯度，从高温流体中逐步沉积的金属形成了金属分带。环绕烟囱和喷口外部的硅化作用胶结了喷口，阻隔海水进入的通道，也增加喷口的强度。

最近 Juan de Fuca 洋脊 Middle Valle 的钻探发现，产于沉积岩中的矿床经历了强烈的重结晶作用和金属重分配作用。实际上矿体中心部位并没有原生硫化物保存，区域内大部分金、锌被迁出，在矿体上部重新沉淀。沉积岩中产生的与碳酸盐平衡的变质流体（pH＝5.3；富 Ca 和 CO_2；贫贱金属元素；温度＜300 ℃）持续通过硫化物矿体，是引起硫化物重结晶、金属重新分配的主要原因。

毫无疑问，古老的矿床也经历了同样复杂的沉淀历史。在 Milenbach 见到的“铜栓”，在许多 VMS 型矿床中以变形形式存在。

硫化物基座的逐渐升温使得早期结晶的黄铁矿先后被闪锌矿、黄铜矿交代。因此，由于高温流体长期渗流而加热的硫化物基座可能逐渐富集铜。在 Kuroko 矿床，这个过程已经形成了黄矿。

原岩和沉积环境如何，在现代海底热流渗出区域都有重晶石形成。它的出现更多地依赖低温流体（≤250 ℃）渗出温度，消耗了大量贱金属和硫，形成了富重晶石烟囱。大部分富重晶石烟囱离高温富金属流出孔至少几十米，因此，接近古矿床附近，在热液高温活动峰期之后或远离高温活动中心，或海水含硫酸盐较高的地点才形成重晶石。在渗出高温流体的地热系统中不可能形成有意义的重晶石堆积。

恰巧，富金块状硫化物几乎毫无例外都与富重晶石组合相伴生。Hannington（1989）指出金很容易被迁移的二硫化物保存在热水流体中，并被强氧化作用从流体中沉淀。通过冷却，提高 pH 值和 PO_2 值，配合在海底热流体中的二硫化物被加强，

黄金地质研究所
信息室 提供

在 Axial 海山环绕高温场周围的一系列烟囱由分布在重晶石、硅质基质中的 $2\times10^{-6}\sim3\times10^{-6}$ 的 Au、铅矾、闪锌矿、方铅矿、银-锑硫化物和砷白铁矿、黄铁矿组成。

Waque 认为，烟囱中的氧化还原条件在弱氧化和弱还原状态之间交替变化，正如铅矾和方铅矿共存的条件一样。在冷却的近中性流体中 H_2S 可以被氧化成二硫化物、单硫化物或硫酸配合物，这种冷的弱氧化含铁溶液有利锑、砷、银、铅和金的配合物形成，构成烟囱的主要矿物组合。

在 Axial 海山相对浅成或其他富金海底环境中，沸腾是普遍存在的。沸腾引起铜、铁、锌（通过冷却）在表层下沉淀，剩余流体中则富含金、钡和铅。这样富金块状硫化物可能在相对浅水的环境（<1 900 m）形成，特别是在氧化型海水中。Axial 海山和 Explorer 洋脊硫化物的高金含量是水深（例如沸腾）控制化学因素导致金富集成矿。

有意义的是，采自中大西洋脊 TAG 地热场（形成水深 3 700 m）的富金样品，可以归因于 2 个同生再沉积过程：1）金被来自烟囱基座中的近中性 pH、还原性流体二硫化物配合物从早期共生的硫化物（含金 0.5×10^{-6}）中淋滤出来；2）金在硫化物烟囱基座外缘冷的氧化带再沉淀。另外，海底氧化性硫化物带（如表生蚀变带）是类似淋滤再沉积机制发生金富集的有利地段。

4.2.5 *边缘沉积物* 最后覆盖 VMS 矿体的岩层可能有多种起源。黑烟囱中微粒硫化物丰富，但是在现代海洋中，微粒硫化物分布却很广。氧化作用破坏了大部分原生矿物，即使直接临近矿体，硫化物落尘也是很少的。但是底层是还原性水，硫化物落尘就能形成有意义的矿床边缘沉积物。在 Noranda 矿床和 Matagami 湖 Key Tuffile 地层中凝灰岩中大量的硫化物可能就是微粒硫化物落尘。在热液凝聚物中已注意到有粘土矿物、重晶石、硅质铁物质。这些物质也可以在与古代烟囱有关的薄层远洋沉积物中形成。一旦达到≥1 m，这样的沉积层对密封烟囱周围的区域，阻止冷海水下渗起到重要作用。这样可以保证上升流体的集中排泄并防止冷却。重晶石、锰氧化物只能在氧化性底层水中形成。因此，可以根据底层水中氧的分解量，预测有不同的边缘物质种类。

覆盖在矿体上含铁硅酸质带可能是低温热液沉淀物，高温凝聚硅并不是烟囱的重要组分，但却在渗出流体中大量存在。海水中硅组分缓慢的成核速率可能导致其在沉淀前被淡化。但是，硅可以被水解离子迅速吸附。硅在低温喷口中或周围沉淀，特别是当流体中含 H_2S 较低时。Juniper（1988）指出，欧泊 A 作为一种硅质宝石，是在丝状细菌体上凝聚的，这些细菌要求有 H_2S 充分供给，如果供给停止，细菌就死亡了，并迅速被铁氧化物代替，欧泊 A 沉淀在铁氧化物上。

一些铁质盖层可能是海底硫化物基座的同沉积氧化产物。现代海底这种气体作用每 10 万年就能完全破坏掉一个小矿床，除非它被沉积岩层或火山岩层保护起来。

5 总 结

VMS 矿床形成模式的研究得益于对现代活动地热系统的研究及与古矿床的对比。这种研究过程是互相影响的：研究古矿床提出的问题决定了现代地热系统的一些新的实验。这种方法最终导致更定量的理解矿床，指导勘探新的矿产资源。

VMS 矿床是分布于海底火山岩区域的同火山期硫化物矿床，矿石矿物主要是铁硫化物、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿。其重要形态特征是由一主要矿化层的块状硫化物透镜层和底板岩层中热液交代蚀变角砾岩筒中网脉状硫化物矿化带组成。

VMS 矿床不限于单一的板块构造环境、特定的火山岩石类型或任何特定的地质时代，其不仅是洋底火山作用的特殊产物，而且受到洋底水文地热和地形条件控制。

实际有经济价值的矿床，可以由多个相互独立的块状硫化物透镜体和网脉状矿化岩筒组成，矿床规模 100～1 000 万 t，Cu＋Pb＋Zn 平均品位 2%～10%。

矿床倾向于集中分布形成一个矿集区，一般矿集区规模直径平均 32 km，每个矿集区内矿床矿化一般产于同一地层层位内，具明显的可比性。

VMS 矿床从底板网脉状岩筒中心和块状硫化物透镜体底向上向外具有明显的矿化分带、脉石分带和热液蚀变分带。

VMS 矿床主要分为两大类，即 Cu-Zn 型和 Zn-Pb-Cu 型矿床，这种分类反映了主要的矿石矿物组合及其他地质特征。

关于火成岩的分异量，沉积岩或火山岩的低温盖层的地球化学晕的规模、性质，各种蚀变矿物的比率和矿化带产生的同位素异常规模、异常强度等，正是一些有待更定量研究的参数。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

黄金地质研究所
信息室 提供

海相火山岩型铅-锌矿产出的地质背景

无论国内外，海相火山岩型（VMS 型）块状硫化物矿床均局限于优地槽带，发育于优地槽的早期阶段。我国海相火山岩型铅-锌矿床也不例外。如白银厂地区小铁山铅-锌矿床，产于中寒武世海相火山岩系中，即发育于北祁连山加里东优地槽发育的早期阶段。

从我国海相火山岩型铅-锌矿床产出的地质背景看，它们有的与蛇绿岩套有关，有的则无关。祁连山东段、川西地区的一些海相火山岩型铅-锌矿床及日本黑矿，均与酸性火山熔岩、火山沉积岩，特别是英安-流纹质凝灰岩有关，有的则与细碧角斑岩系有关。它们与岛弧构造中的火山岩建造有密切联系。在我国已知海相火山岩型铅-锌矿床中，似乎只有辽宁红透山铜-锌矿床可能与古老的太古宙的深变质蛇绿岩套有关。

我国海相火山岩型铅-锌矿床主要发育于西部地区的古生代—三叠纪地槽褶皱带中。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

VMS 型铅-锌矿床勘查方法

VMS 型铅-锌矿床，即火山成因块状硫化物矿床（Volcanogenic Massive Sulfide Deposit——VMS）或火山岩容矿的块状硫化物矿床（Volcanic—hosted Massive Sulfide Deposit——VHMS）是海底喷流沉积型铅-锌矿床的一个重要类型。根据成矿元素组合的不同，可进一步分为铅-锌组合、铜-铅-锌组合和铜-锌组合。铅-锌组合通常产于具有陆壳基底的海相火山岩带中，如我国阿尔泰山南缘可可塔勒铅-锌矿带、哈萨克斯坦的矿区阿尔泰和西班牙—葡萄牙（伊比利亚）黄铁矿矿带中的铅-锌-多金属矿床均是如此；产于岛弧环境下的 VMS 矿床多为铜-铅-锌-多金属矿床（如黑矿型矿床），而形成于洋脊环境中的 VMS 矿床为铜（锌）型，含铅很低。从含矿火山-沉积柱的特征看，VMS 型铅-锌矿床主要产于长英质（流纹-英安质）为主的火山-沉积岩系中，而当含矿岩系中出现较多的中基性火山岩时，则矿石中常含有较高的铜，形成铜-铅-锌矿床，或在同一矿带中出现铅-锌矿床与以铜为主的多金属矿床共生。

VMS 型的铅-锌矿床、铜-铅-锌矿床和铜-锌矿床，三者之间在找矿思路、找矿方法的选择上基本是相同的。与 SEDEX 型铅-锌矿床在勘查方面也有许多相似性，可相互借鉴和启发。

1 成矿模式及勘查意义

VMS 型铅-锌矿床（含铜-铅-锌组合，下同），是一种产于海底火山环境中的同生喷流-沉积矿床，赋存在一定的层位中，因而顺层找矿是主要的找矿思路。

这类矿床的常见特征是具有双层矿化结构，即上部为层状矿体，是由喷流到海底的成矿溶液沉淀形成的（通过与海水混合和降温、降压等机制），下部为交切的细网脉—浸染状矿化，代表成矿溶液的喷出通道。交切的细脉状矿化和层状矿化可互为找矿标志。

根据对加拿大、澳大利亚和日本的 VMS 矿床（在一些文献中，把日本的 VMS 型铜-铅-锌矿床又称为黑矿型矿床）的研究成果（Sangster，1972；Sato，1974；Franklin et al.，1981；Large，1992），结合我国的研究和找矿实践，总结出对寻找 VMS 型铅-锌矿床有重要意义的找矿评价标志。

1）无论是在玄武岩→安山岩→流纹岩演化系列中，还是双峰式火山建造中，70% 以上的 VMS 型铅-锌矿床出现在长英质火山岩或火山-沉积岩中，92% 的矿床其下盘层序中有大量的长英质岩石。

2）酸性集块岩—角砾岩组合，VMS 型铅-锌矿床与酸性集块岩有密切的空间联系，在块状硫化物产出的火山岩层中或附近总可见到酸性集块岩，随着碎屑粒度的减少，在侧向上过渡为角砾凝灰岩或凝灰岩。大多数前寒武纪块状硫化物矿床在 800 m 范围内就能发现酸性集块岩，在集块岩中除火山岩碎屑外，硫化物碎屑也能见到，因而被称之为“选厂岩（millrock）”（Sangster，1972）。西班牙—葡萄牙黄铁矿带中的矿床也都产在集块岩附近 1 000 m范围内（Strauss，1972）。我国白银厂、

黄金地质研究所
信息室 提供

可可塔勒等矿区也有类似的规律性。

3）石英斑岩和白色流纹岩穹隆，除酸性集块岩外，石英斑岩与块状硫化物矿床也是一种常见的组合，甚至是直接的容矿岩石，其石英斑晶呈特征的淡蓝色椭圆状（“蓝色石英眼”；图 1）。在黑矿型矿床中，矿体下盘常出现强烈蚀变的白色流纹岩穹隆（蚀变的英安质熔岩）和伴生的蒸气爆发角砾岩（图 2）。

实际上，集块岩—角砾岩和石英斑岩及白色流纹岩穹隆组合，反映了古火山喷发中心的存在，

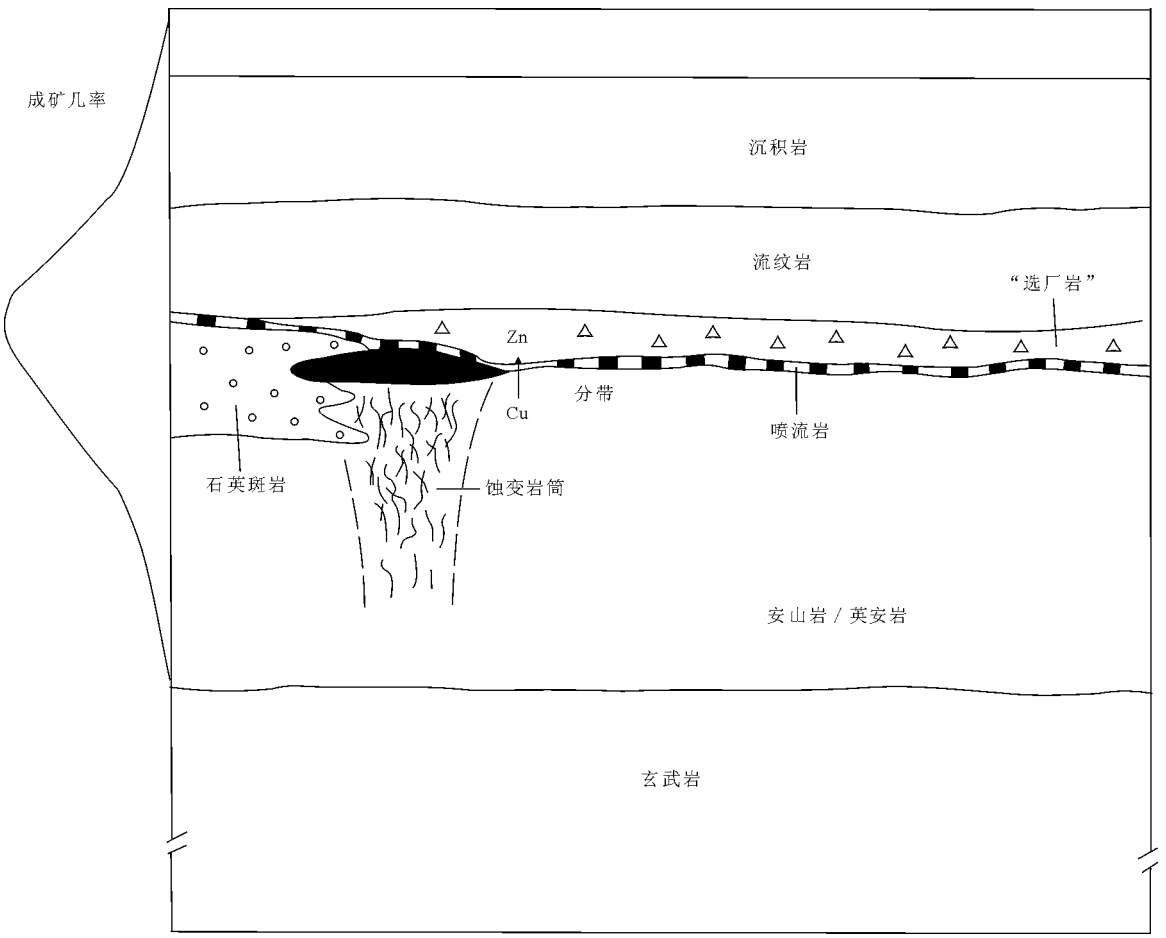


图 1　加拿大太古宙 VMS 矿床理想剖面图（据 Sangster，1972）

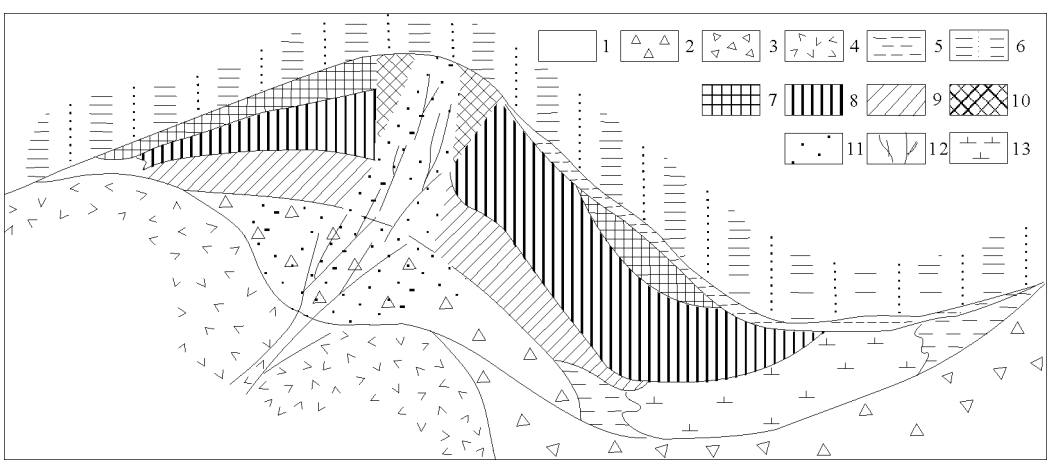


图 2　黑矿型矿床理想剖面图（转引自桑斯特 DF，1985）

1—酸性凝灰岩（上盘）；2—爆发角砾岩；3—酸性凝灰角砾岩；4—白色流纹岩穹隆；5—含铁燧石；6—粘土；7—重晶石矿；8—黑矿：块状方铅矿-闪锌矿-重晶石(黄铜矿-黄铁矿)；9—黄矿：块状黄铁矿-黄铜矿；10—混杂矿；11—硅质矿；12—黄铁矿-黄铜矿-石英细网脉；13—石膏矿

黄金地质研究所
信息室 提供

VMS 矿床多产于火山喷发中心附近。在特殊情况下也可形成远火山的块状硫化物型铅-锌矿床(Large，1977；图 3)，这时近火山 Cu-Zn 型块状硫化物矿床与远火山的 Pb-Zn 型块状硫化物矿床构成一个矿化对，可互为找矿标志。

4)有利含矿层位。代表了火山喷发间歇期或

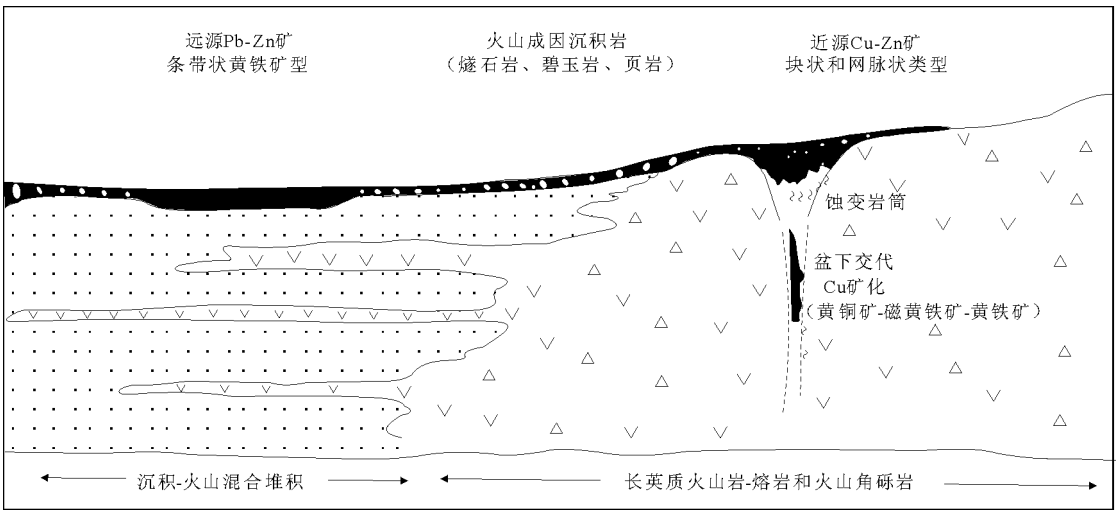


图 3　近火山矿床和远火山矿床产出的地质环境示意图（据 Large，1977）

末期的热水沉积岩（喷流岩），指示了块状硫化物聚集的有利层位，可作为关键的填图和勘查单位。有利含矿层位一般具有以下标志①含有热水沉积的铁氧化物—硅酸盐，包括红色或紫红色含铁碧玉岩、条带状赤铁粉砂岩和赤铁石英岩等，在有的地区出现铁锰碳酸盐类热水沉积岩。在强烈变质的地层中，常表现为磁铁石英岩和磁铁矿变质粉砂岩或由热水沉积的钙铁硅酸盐变质而成的层状似夕卡岩组合。②含硫化物碎屑岩、含黄铁矿的凝灰质粉砂岩和重晶石岩等出现的层位。③含黄铁矿的黑色(碳质）沉积夹层（层凝灰岩、变质细碎屑岩)。喷流到海底的含矿溶液常造成一种缺氧环境，形成含碳和/或黄铁矿的沉积岩。因此，当区内大多数沉积岩系不含碳时，局部含碳和黄铁矿的沉积岩系的出现，是一种有用的找矿标志，如西班牙—葡萄牙黄铁矿矿带中的铅-锌-多金属矿床，就产于下盘酸性火山岩与上盘细碧岩之间的含碳凝灰岩和碳质板岩中。含黄铁矿的沉积层中的黄铁矿可能有 2 种成因：成岩黄铁矿和喷流成因的黄铁矿，前者和火山成因块状硫化物型铅-锌矿床的形成可能没有多大关系，而后者则是重要的找矿标志。成岩黄铁矿通常具有以下特点：呈粗粒、自形的浸染状分布；大量草莓状黄铁矿；与有机碳有明显的联系；$\delta^{34}S$ 值范围较宽。热液（喷流）成因黄铁矿特点：纹层状、条带状；呈密集的细粒；硫化物和碳含量之间没有关系；与燧石等热水沉积岩伴生。

在有利含矿层位中铁氧化物相、硫化物相和碳酸盐相的热水沉积岩，多分布于块状硫化物矿床的外侧（图 4)，从矿化中心向外，形成块状硫化物矿石→浸染状、条带状矿石→浸染状矿化→热水沉积岩的分带性。认识到这一点，对大比例尺的成矿预测和勘查工程部署有重要意义。

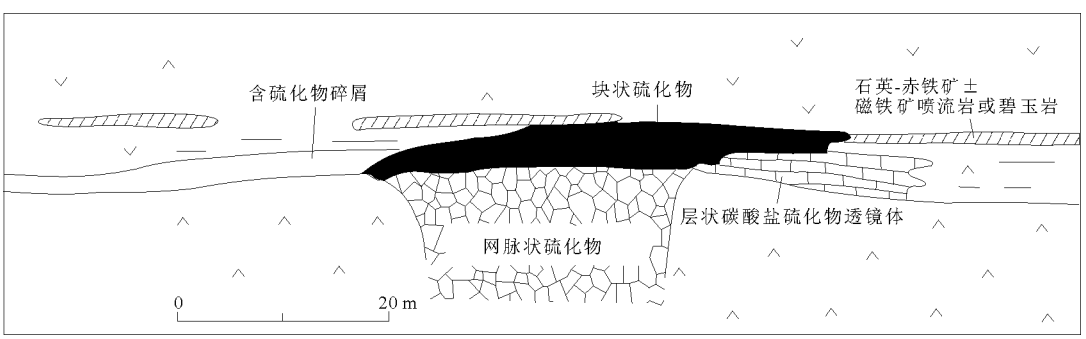


图 4　块状硫化物矿床与热水沉积岩的空间关系示意图（据 Large，1992）

黄金地质研究所
信息室 提供

5）断裂控矿，除地层控矿外，火山喷流矿床也受基底断裂控制，正如热泉和火山常沿断裂呈线形排列一样，与主要断裂的交会部位也控制了块状硫化物矿床的产出。

6）围岩蚀变，VMS 铅-锌矿床的围岩蚀变在蚀变强度、范围、形状和分带性等方面变化很大，但可总结出带普遍性的分带模式，对指导找矿勘查具有重要意义。

对澳大利亚—加拿大的 VMS 矿床蚀变研究，识别出 4 种蚀变类型（图 5）：A 下盘蚀变岩筒；B 深部半整合型蚀变（也称为层控状蚀变带）；C 矿层蚀变；D 上盘蚀变。蚀变岩筒切穿矿体下部地层，与不规则网脉状矿化伴生，呈板状、胡萝卜状，延深远大于延长。常见的蚀变矿物组合有石英、绢云母、绿泥石和少量的碳酸盐及粘土矿物；深部半整合状蚀变出现在下盘深部，横向蚀变范围大，变化大，蚀变岩筒向下延伸到或切割该蚀变带，蚀变矿物组合包括石英、绿泥石、绿帘石和次生钠长石（类似细碧岩的矿物组合），蚀变过程中带出 Na，带入 Fe，Mg，在与蚀变岩筒交会部位可能有 Na 的局部富集；矿层蚀变主要出现在含矿层的岩屑和角闪石、黑云母、斜长石等矿物中，绿泥石、绢云母和石英是常见的蚀变矿物；上盘蚀变变化较大，许多矿床中不发育，以粘土化为主。

日本的黑矿型矿床由于变质程度浅，对其蚀变分带进行了详细的研究，识别出4个蚀变带（图 6）。与加拿大、澳大利亚等的 VMS 矿床相比，黑矿型矿床中矿下深部的半整合型蚀变带不发育，而矿上蚀变则特别发育。蚀变岩填图成功地应用于深沉（Fukazawa）矿床的勘查中。

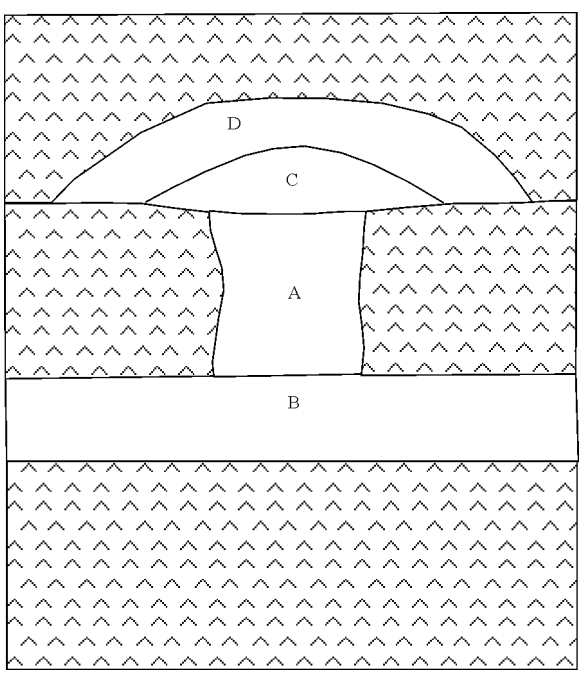


图 5　VMS 矿床蚀变分带示意图

A—D 的说明见正文

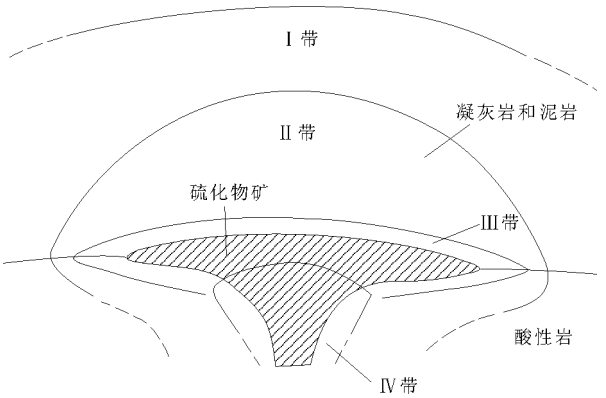


图 6　日本黑矿型矿床蚀变分带示意图（转引自桑斯特 DF，1985）

Ⅰ带为蒙脱石、沸石、方英石带；Ⅱ带为绢云母-铁镁绿泥石、钠长石、钾长石和石英带；Ⅲ带为绢云母、镁绿泥石带；Ⅳ带为石英、绢云母带

桂林冶金地质研究所矿床室铜矿专题组（1972）对我国白银厂等 VMS 型大型矿床的研究结果表明，矿化带及其附近遭受以绢云母和硅化为特征的强烈蚀变，长石完全消失，形成无长石蚀变带，所含绿泥石薄片下近于无色，含钛铁矿物转化为金红石。蚀变矿物组合随变质程度的不同而变化。变质程度低时与蚀变的绢云母、绿泥石相伴的还可有大量的粘土矿物；变质程度更高些则出现红柱石、蓝晶石、十字石、堇青石、直闪石、阳起石等。但强蚀变带无长石则是不变的（在区域变质达到钾长石变斑晶大量出现之前可能均是如此）。因此，无长石化带是重要的找矿评价标志。

7）后期变形作用的影响，VMS 矿床形成于火山沉积盆地中，在后期的造山变形变质作用改造下，常使其原始形态发生巨大变化（图 7），给矿床类型的识别和预测带来了困难。在强变形变质区，正确地识别后期变形变质作用的影响，是取得找矿突破的重要因素。

2　地球化学勘查

VMS 铅-锌矿床的地球化学勘查，主要依据 2 个方面：一是矿床形成后经表生风化剥蚀形成的次生分散晕，可通过水系沉积物和土壤次生晕测量等常规化探方法予以发现，多用于VMS矿床的勘查

黄金地质研究所
信息室 提供

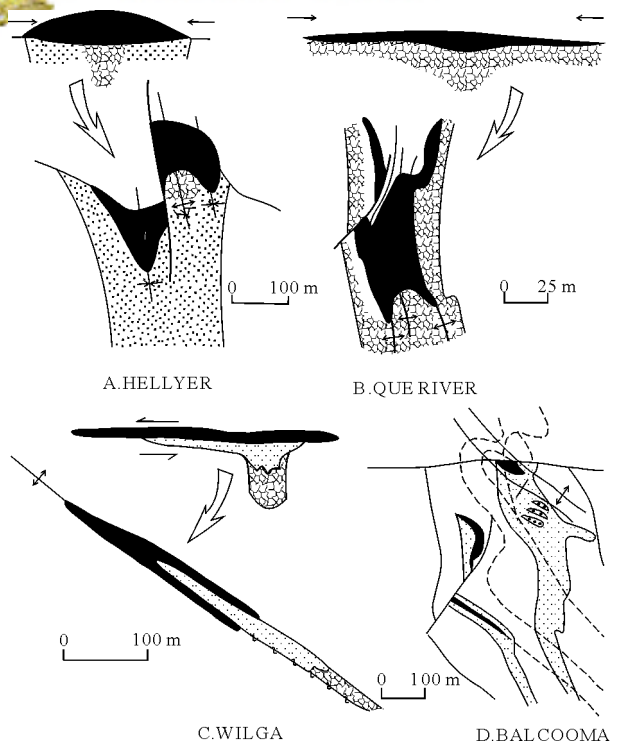


图 7 澳大利亚 VMS 矿床的变形改造样式（据 Large，1992 简化）

A，B，C 中上部剖面表示矿体的原始形态，下部剖面表示变形改造后的样式；D 表示多期变形对 2 个含矿层的影响

选区；二是依据成矿过程中围岩蚀变所引起的元素带入带出规律，通过原生晕地球化学测量予以识别，多用于矿区大比例尺的定位预测与勘查。下面以可可塔勒矿带的麦兹地区和日本的北鹿地区为例加以说明。

1）分散流普查（水系沉积物测量）。为一种在区域范围内优选找矿靶区的有效方法。通过 1∶5 万分散流普查在麦兹地区获得 2 个 Pb-Zn-Cu-Ag-As-Cd-Mn 综合异常：H—48 和 H—51。异常展布方向与区域构造线及火山-沉积盆地的延伸方向一致，其中以 Cd，Pb，As 异常展布面积最大，Zn 次之，Ag，Cu 则以局部异常出现在综合异常中。这些综合异常面积可达几十至几百平方千米，较好地圈定了远景矿田或矿集区的范围。此外，在麦兹地区还识别出了规模达上百平方千米的成矿元素亏损—富集场，亏损场主要出现在主含矿层之下的康布铁堡组下亚组和上亚组底部的火山-沉积岩中，富集场则出现在上亚组含矿层附近。表明成矿元素有大规模迁移富集，是形成大型矿集区的重要判别标志。

2）土壤次生晕详查。对重要的分散流综合异常，用 1∶2 万土壤次生晕详查分解，详查范围包括有利的含矿层位。麦兹地区 H—48 分解为 5 个异常，H—51 分解为 15 个异常。土壤次生晕元素的组合与分散流异常的元素组合基本一致，但能更清晰反映主要矿化地段，已知矿床、矿点大多位于次生晕综合异常的浓集中心附近，可为地质评价提供精确信息。

Cd 在异常定性和定位中有重要作用。由于 Cd 主要呈类质同象赋存于闪锌矿中，Cd 和 Pb，Zn 异常同时出现时，多为矿致异常；在风化淋滤过程中 Cd 比 Pb，Zn 稳定，因而 Cd 异常的高低更能反映矿化强度，且异常位移小，易于确定矿体位置。

3）低 Na（Ca）异常带和蚀变指数。国内外研究结果表明，蚀变围岩的矿物学分带和化学成分分带大体是吻合的，绿泥石化带中 FeO，MgO 增加，绢云母化带中 K_2O 增加，而在所有蚀变带中 Na_2O，CaO 亏损（与斜长石的蚀变分解有关），强烈的 Na_2O 亏损出现在日本深沢矿床和铒钓矿床的下盘，位于矿体近侧（图 8，9）。作为衡量蚀变程度的一项指标，Ishikawa（1976）提出了蚀变指数的概念：$AI=[(MgO+K_2O)/(MgO+CaO+Na_2O+K_2O)]$，蚀变指数直接用全岩化学成分计算，向蚀变中心部位增加，蚀变指数和下盘 Na_2O 亏损带广泛应用于日本黑矿和其他地区 VMS 矿床的勘查中，被证明可能是适用于矿区最有效的全岩地球化学勘查方法。近年来的进一步研究表明，某些地区，如 Sturgeon 湖、Bergslagen 和西班牙—葡萄牙黄铁矿带中，Na_2O 亏损带沿走向可达数千米，这种大范围（沿走向＞10 km）Na 亏损带的出现，是大规模流体系统存在的重要标志（Galley，1995），指示了 VMS 矿床大型矿集区的存在。

对可可塔勒矿区 7 号勘探线钻孔原生晕研究结果显示（图 10）。Na_2O 亏损（7 线 K_2O/Na_2O 达 16.3）所形成的 Na_2O 亏损带紧紧包围矿体，向深部尚未封口，一方面预示仍有找矿空间，另一方面也表明 Na_2O 亏损带可出现在含矿层中，而不仅限于矿体下盘。

3 地球物理勘查

地球物理勘查手段的选择，主要根据矿体与围岩的物性差异和施工条件（包括地形条件）来确定。下面以可可塔勒矿床为例，结合国内外的其他实例，说明 VMS 矿床的物性特征和地球物理勘查手段的选择。

黄金地质研究所
信息室 提供

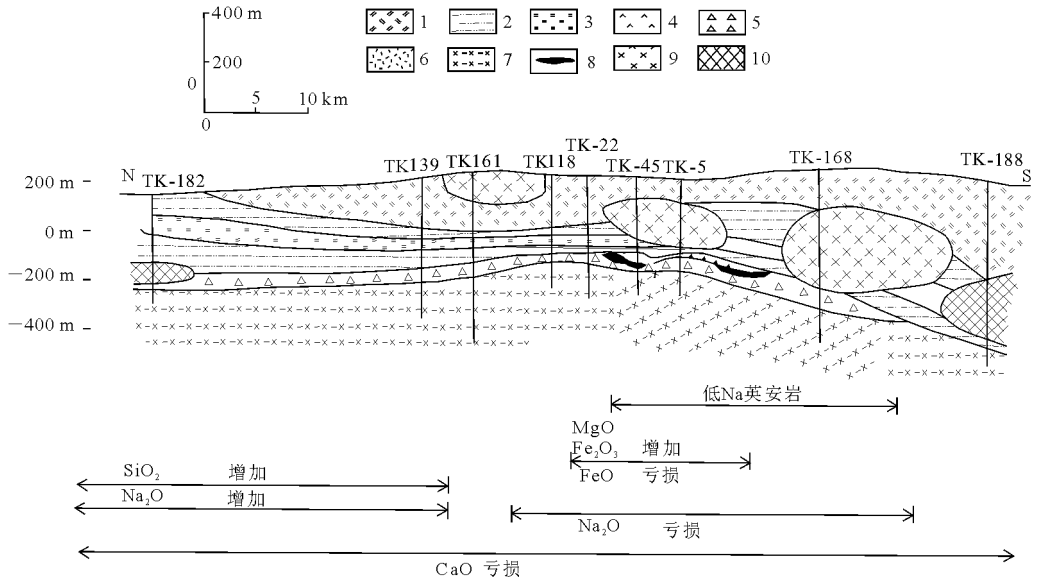


图 8 日本深沢（Fukazawa）矿床周围下盘英安岩中元素的亏损特征（据 Date et al.，1983）

1—茂内组；2—龙谷组泥岩；3—龙谷组浮岩凝灰岩；4—龙谷组玄武岩；5—雪呗组凝灰角砾岩；6—雪呗组英安岩（低 Na）；7—雪呗组英安岩（富 Na）；8—雪呗组黑矿矿床；9—英安岩；10—粗玄岩

3.1 岩石-矿石物性特征

根据麦兹可可塔勒矿区物性参数统计（胡剑辉等，1996），围岩和矿石具有明显的物性差异：围岩电阻率高（ρ为 1 300～13 000 Ω·m），幅频率低（F<4%），密度小（σ为 2.6～2.8 g/cm^3），磁性弱（K 为 50～1 120 CGSM，剩磁 Jr<50×10^{-6} CGSM），表现为中高电阻率、低极化、低密度、微磁或无磁性特征；而矿石从浸染状到块状铅-锌矿，幅频率 F 从 18.1% 增至 66.5%。电阻率 ρ 从 2 000 降至 30 Ω·m，密度 σ 从 3 增至 3.5 g/cm^3，磁化率 K 从 6 000×10^{-6} 增加到 8 000×10^{-6} CGSM。表明块状硫化物型矿体具有高极化、高密度、中磁性、低电阻率特征。可可塔勒矿床的物性代表了 VMS 矿床普遍的物性特征，是 VMS 铅-锌矿床物探方法手段选择的重要依据。

3.2 可可塔勒矿区地球物理方法选择与应用

可可塔勒矿带曾试验应用了包括自电、激电、电阻率法、磁法、瞬变电磁法（TEM）和可控源大地电磁测深（CSAMT）等多种物探方法（王京彬等，2001）。以可可塔勒矿区为例，各方法的物探异常和应用效果如下（图 11）。

自电，在可可塔勒主矿体上，形成了长 1 000 m，宽 20～180 m，具有 4 个“负心”的异常，其场强大（Umin 达－180 mV）、梯度陡，能清楚地图定铁帽的分布位置。

激电，极化率（幅频率）异常在主矿体上形成了长 500～550 m，宽 30～120 m，FSmax 达 8% 的异常。异常主体部位形态宽缓，为多层矿体引起，向下有一定延伸。

电阻率，低阻异常出现于高极化处，在主矿体剖面上，ρ异常为两侧高、中间低的“U”型低阻异常，ρmin 为 31 Ω·m，而 ρmax 可达 2 000～4 000 Ω·m，ρ 低值异常与地表铁帽分布位置吻合。

磁法，地面磁测在矿体上能获得中等强度异常 Za>1 500 nT，极大值可达 7 099 nT，引起异常的原因除与矿石中磁黄铁矿有关外，尚与地层中含磁铁矿的热水沉积岩有关。

瞬变电磁法（TEM），在矿区 3.5 km^2 范围内发现了 3 个 TEM 异常（图 12），Bx（水平分量）负异常紧紧围绕矿体群分布，Bx，Bz（垂直分量）从早期到晚期可获得明显异常，较好地圈定了矿体平面位置。根据与导电体导电矿物含量、导电体规模及几何形态有关的时间常数 τ和纵向电导 S 计算结果，3 个异常均为矿异常。其中 T_1 异常对应矿体最好，T_2 次之，T_3 稍差。反映矿体规模与质量由 NW 向 SE 逐渐变好。

CSAMT 法，该方法探测深度随人工场源发送频率（f）而变，从几米至几千米，是较先进的物探新方法。在可可塔勒主矿体上方获得 CA—3 异常，长 1.2 km，宽 400 m，异常在不同深度，其规模由大变小。在主矿体 7 线上，其卡尼亚（ρ—h）ρ 拟断面，ρ<500 Ω·m 的范围，延深达 600 m，宽130 m，清晰地圈出了矿体群赋存位置及形

黄金地质研究所
信息室 提供

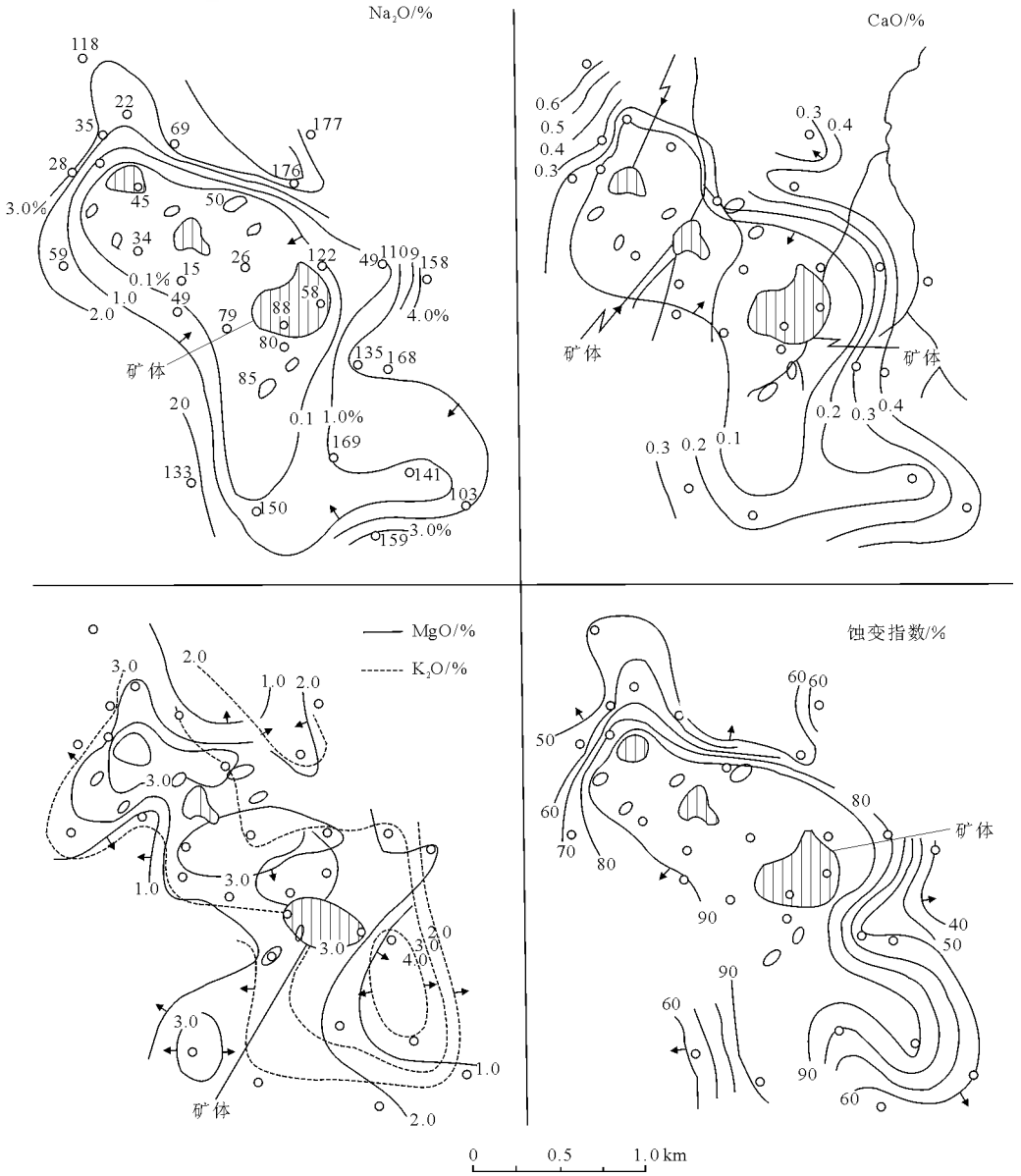


图 9　深沢矿床下盘英安岩中蚀变指数和造岩元素分布图

态。

从应用效果看，在评价浅表矿特别是地表有铁帽出露时，上述方法均有效果。但寻找隐伏的块状富矿，TEM 法是最有效的，其中 *Bx* 负异常可较好地圈定矿体位置，推断矿体的产状和延深，所圈定的异常经钻探验证，大多见到矿体。麦兹地区 CSAMT 法虽然在已知矿体上试验效果较好，但在新区（如大桥矿点）所获得的异常，未进行钻探验证。对在国外和邻区阿舍勒矿床中找矿效果好的重力法，因可可塔勒矿带地形起伏较大而未应用过。

3.3　其他物探方法

在地形条件较好，以寻找厚大块状硫化物矿体为目标的地区，高精度重力是一种有效的物探方法，在阿舍勒等矿区取得了好的应用效果，在葡萄牙—西班牙黄铁矿带的勘查中，由于 VMS 矿床的围岩多为含碳的碎屑岩（电法和电磁法的应用受到一定的限制），高精度重力测量是一种重要方法。高精度的重力测量和科学解释，是发现隐伏（埋深 300 m 以下）的 Neves-Corvo 超大型铜-铅-锌矿床的主导方法。日本黑矿型矿床下盘广泛出现磁性较高的英安岩，在围岩蚀变过程中，英安岩中所含的磁铁矿被转化为黄铁矿，具磁性的铁镁矿物（如角闪石、黑云母等）蚀变为无（弱）磁性的绿泥石和绢云母等，使下盘蚀变围岩中磁化率明显降低，低磁晕可从矿体向外延伸 1～2 km，磁化率在钻探现场用岩心碎片来测定，5～6 秒钟 1 个样。因此磁化率法是黑矿型矿床勘查中的一种方便高效的物探方法。

黄金地质研究所
信息室 提供

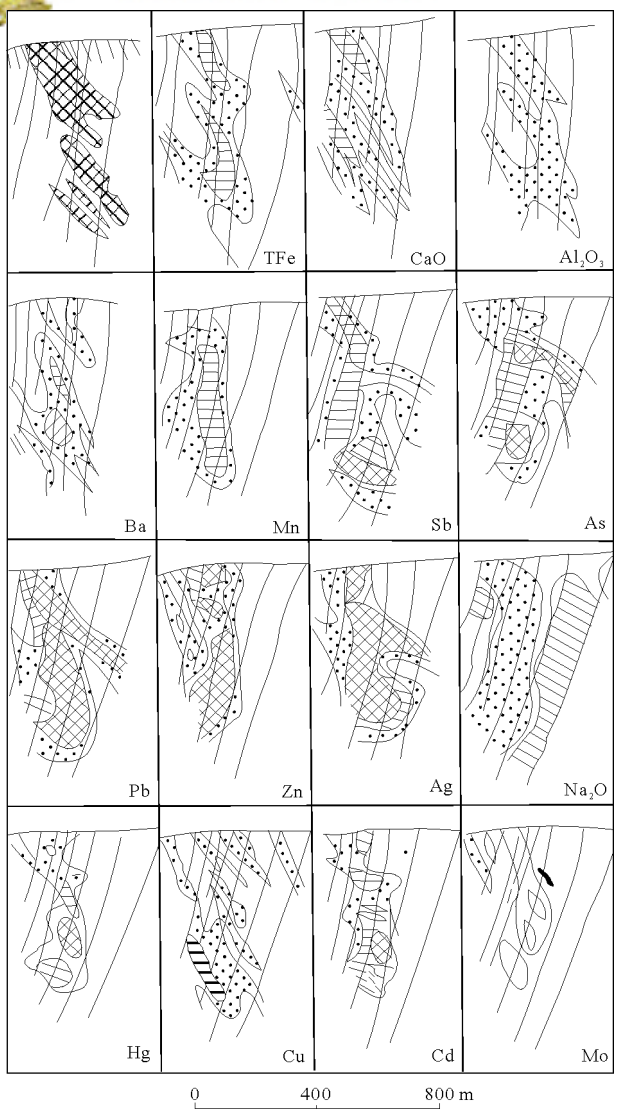


图 10　可可塔勒矿床 7 线地球化学剖面图

4　综合勘查模式

大多数 VMS 型铅-锌-多金属矿床具有成群成带产出的特点，有时，正是这一特点成为目前仅有一两个已知块状硫化物矿体的火山岩带进行重新勘查的主要原因。要选择最佳的勘查方案，必须了解工作区最可能产出的矿化类型。以上从地质、地球物理和地球化学 3 方面对 VMS 型铅-锌矿床的勘查方法进行了讨论，实际应用过程中关键是针对找矿阶段和目标，进行有效的方法组合与配置。下面以可可塔勒矿带 VMS 铅-锌矿床为例对综合勘查方法进行简要论述（王京彬等，1998），供参考借鉴。

根据研究程度和勘查目标的差别可可塔勒矿带找矿评价大致分为 3 个工作层次。

第一层次是找矿靶区优选。目的是估价矿带的成矿环境与找矿潜力，优选重点普查区段。解决的技术关键和方法组合 1）矿带的构造-建造分析和与已知（特别是邻区）成矿带的综合对比；2）野外踏勘，重点了解形成大型矿集区的地质异常发育情况，包括火山岩岩性组合及分异性、火山角砾岩—集块岩—次火山岩的发育程度、热水沉积岩和热液蚀变岩的类型及分布等；3）区域地球化学普查（1∶5 万），在异常筛选时除抓“高、大、全”异常外，应特别注意是否存在成矿元素的富集-亏损共轭场，这是判别大型矿集区的重要标志。就可可塔勒矿带而言，这一层次的主要工作在“七五”已完成，肯定了矿带的巨大找矿潜力，优选了麦兹盆地和克朗盆地作为重要找矿靶区。

第二层次是靶区评价（重点区段普查）。目标是在第一层次工作的基础上，优选具有大型矿床找矿潜力的靶位。此阶段的技术关键和方法组合 1）目标区 1∶1 万地质填图和少量槽探工作，查明成矿的地质环境，确定含矿有利层位，寻找成大矿的地质异常（火山喷发中心、赋矿洼地、热液蚀变岩和热水沉积岩等综合发育的区段），发现直接矿化信息；2）对重要分散流异常实施 1∶2 万土壤次生晕详查，帮助快速准确地追索和圈定浅表矿化体（晕），为了把非工业矿化引起的异常（主要是铁锰大理岩等热水沉积岩中星散状铅-锌矿化）和矿体引起的异常区别开来，高浓度的 Cd 异常是重要的判别标志。这一层次的任务通过“八五”的找矿科研工作已取得较大进展，在麦兹和克朗盆地中均划分了 3 个矿化亚区，明确了各亚区相对的找矿潜力大小。

第三层次为矿区（靶位）评价。目标是提交矿产资源地和储量-资源量。该层次的技术关键和组合 1）地表大比例尺地质填图（1∶2 000～1∶5 000）和系统槽探揭露评价，查明地表矿化体的地表分布规律、矿区构造及矿化富集地段等；2）面积性或剖面性物探工作，以 TEM 法为主，利用其框回装置，在 200 m 深度内，可圈定矿体的平面位置，指出赋矿空间；用 TEM 测深的低阻异常（几—几十 Ω·m）可在约 400 m 的范围内，判别矿体形态、产状，指导钻孔布置；3）钻孔原生晕方法，利用铅-锌等成矿元素的展布规律和 Na_2O 亏损带，推断矿体延深，预测隐伏矿体；4）钻探等工程的验证与控制。

上述 3 个层次通过逐步缩小靶区来快速经济地发现大中型矿床，是经可可塔勒矿带找矿实践证实了的有效评价方法。在具体实施中，若发现好的直接找矿信息（如地表的大型铁帽），则可越过中间

黄金地质研究所
信息室 提供

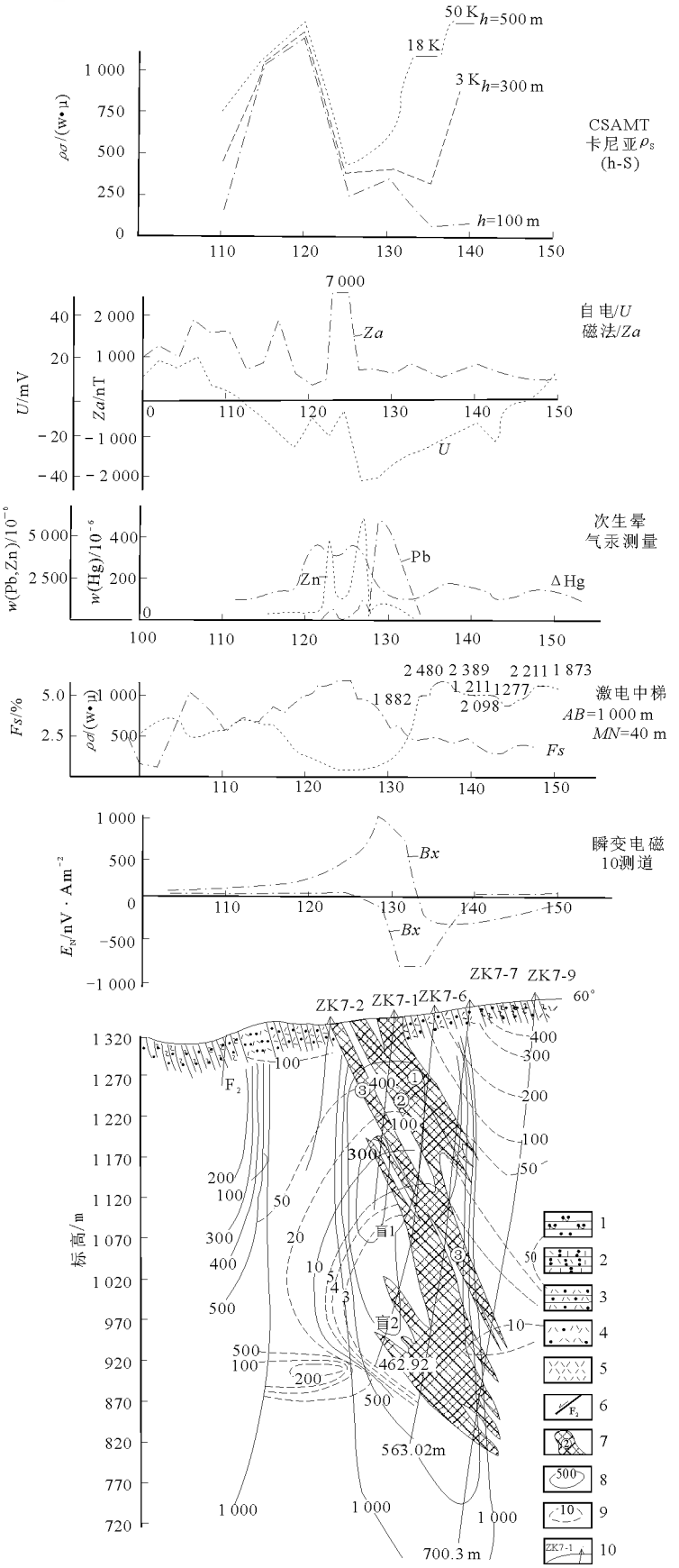


图 11　可可塔勒矿床 7 线地质-地球物理综合剖面图

1—变钙质凝灰岩；2—蚀变沉凝灰岩；3—变沉凝灰岩；4—变凝灰熔岩；5—变酸性熔岩；6—断层及编号；7—矿体及编号；8—CSAMT 卡尼亚 ρs 拟断面（h-ρs）/m；9—瞬变电磁测深 ρs 拟断面/m；10—钻孔及编号

黄金地质研究所
信息室 提供

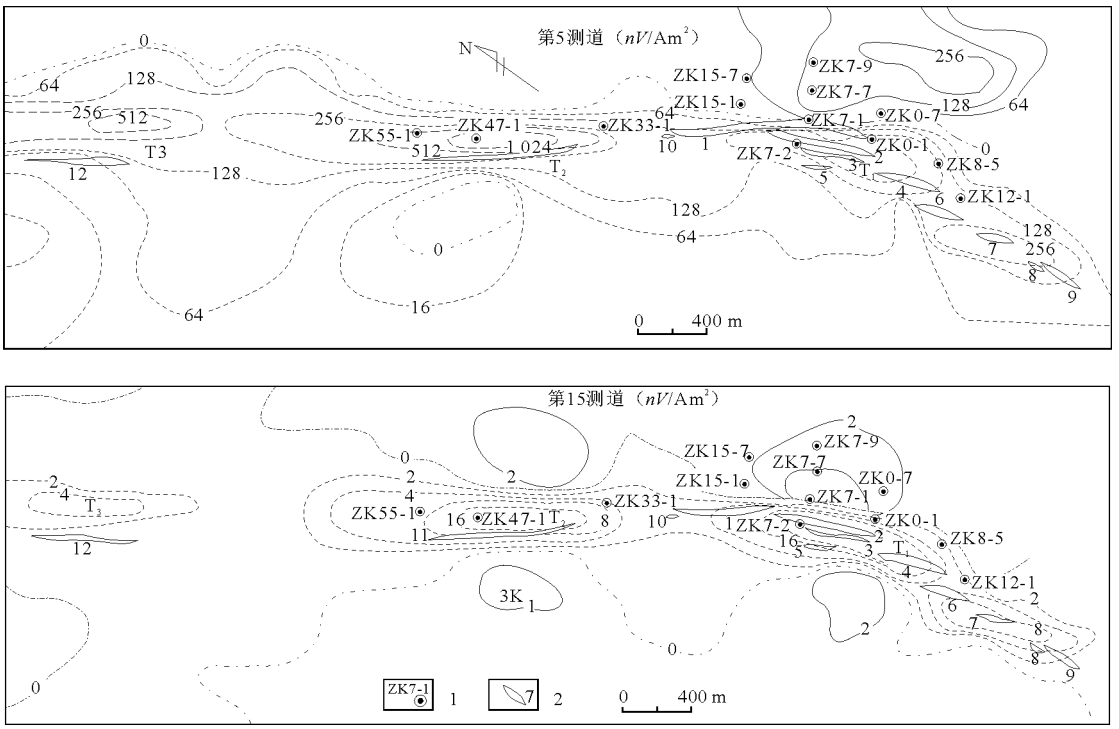


图 12　可可塔勒铅-锌矿区瞬变电磁法 *Bx* 平面图

1—矿体及编号；2—钻孔及编号

层次而直接进入第三层次。总之，找矿的突破，需要创造性思维和地物化等方法的有机配合，特别是不同找矿阶段关键技术方法的应用。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

VMS 型铅-锌成矿模式

Hutchinson R W（1980）给出了 VMS 矿床与板块构造关系的成矿模式图（图 1），由这个成矿模式图可以十分清楚地出看出铅、锌的富集随着长英火山岩出现而出现的，也就是说只有大陆壳中才有铅、锌大规模聚集。举例来说，塞浦路斯块状硫化物矿床和中国的德尔尼矿床代表洋壳中的产物，它们金属建造为 Cu-Co-Ni 建造；别子型代表海沟产物，它的金属建造为 Cu 或 Cu-Zn 建造。无论是洋中脊还是海沟，其火山岩均以基性玄武质岩为主，几乎没有长英质火山岩。进入岛弧地带，到了大洋与大陆的过渡环境，特别是有大陆基底的岛弧，便出现长英质火山岩和长英质火山碎屑岩，至此有了铅、锌的富集。铅、锌大量富集是弧后盆地，例如日本黑矿和中国呷村铅-锌矿均属这种环境。

Hutchinson R W 等（1980）用对流循环机制来解释 VMS 的形成（图 2，3）。图 2 表示在热源（岩浆房）的带动下，形成向下循环海水（流入）或原生孔隙水，经过岩浆房的加热，则形成向上循环的成矿热流体。①表示接近海底浅处正常补给的海水或原生孔隙卤水，由于比重较大开始向下运动，海水或原生水中 SO_4^{2-} 与 2 价铁硅酸盐（如橄榄石、辉石和角闪石等矿物）发生反应，生成散布在岩石中的黄铁矿（FeS_2）和磁铁矿等；②表示继续向下运移的海水或原生水中碳酸根含量减少，同时从 2 价铁硅酸盐结构中萃取出来的多金属，以氯的配合物形式迁移；③表示较深部的水受 2 价铁硅酸盐影响部分地生成磁铁矿和 H_2；④表示当热流体下渗到海底角闪岩相（变质岩相）时，流体温度可能接近 500 ℃，萃取的多金属越来越多，流体的盐度也不断增高，加之 CO_2 与 2 价铁硅酸盐发生反应生成磁铁矿和硫，这种富 H_2 和 C 的高盐度的流体具有很强的还原能力，同时使深部的 SiO_2 淋滤出来，流体在岩浆房的顶部发生折返，构成向上循环系统；⑤折返上升的流体首先与 $C+2H_2$ 结合，生成活动性更强的比重较轻的碳氢化合物，例如甲烷（CH_4）和乙烷（C_2H_6），同时使流体具有强烈的还原能力；⑥在海底喷口的补给带，热流体

黄金地质研究所
信息室 提供

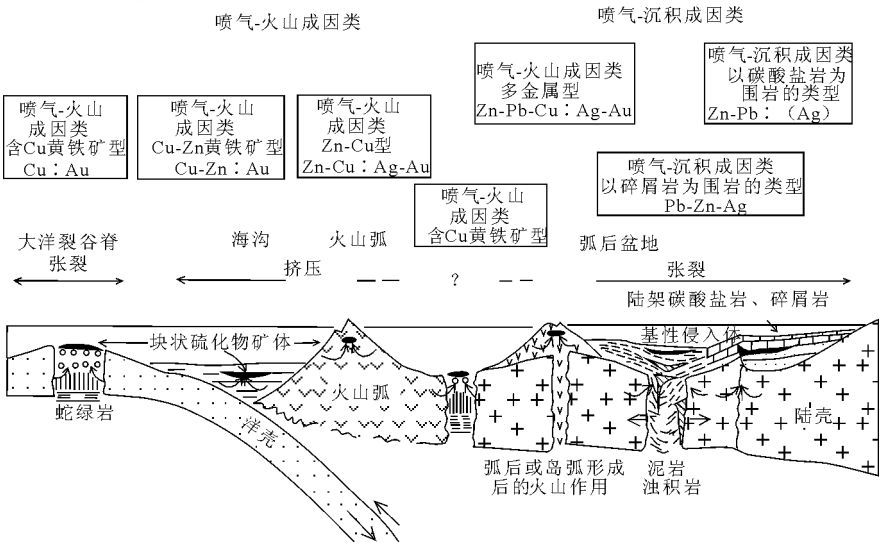


图 1　贱金属块状硫化物（VMS）矿床成矿环境与板块构造的关系（据 Hutchinson R W，1980）

与喷口岩石发生蚀变和生成细脉浸染状硫化物；⑦在海底系统形成块状—层纹状硫化物沉淀。

⑤，⑥和⑦为折返上升的热流体，其温度逐渐降低，当温度降低到 250 ℃以下，铅、锌硫化物便会逐渐沉淀。

图 3 为 Hutchinson R W（1980）等进一步将图 2 中的⑥和⑦作了解释。⑥作为海底界面之下的喷口系统：a）流体压力释放，引起沸腾、蒸气爆发和角砾岩化等；b）浅部循环的富硫酸根的氧化卤水与深部循环的还原卤水发生混合；c）磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和石英等在岩石裂隙中沉淀出来；d）流体与岩石之间发生反应，产生岩石蚀变和富铜富硅的浸染状矿石。⑦作为海底系统，沉积了块状—层纹状矿石：a）还原的卤水喷到海底；b）喷出的还原卤水与海水混合和反应，在不同的 pH，Eh 条件下生成金属硫化物相—碳酸盐相—氧化物相，形成明显的金属分带。这些块状—层纹状矿石便是所谓的“黄矿”和“黑矿”。

在红海热卤水池和东太平洋 21°N 的海底，沿断裂喷流出来的热卤水发生沸腾和蒸气爆发，使这里的岩石产生角砾岩化和贱金属硫化物沉淀出来。

Franklin 等（1981）根据块状—层纹状贱金属

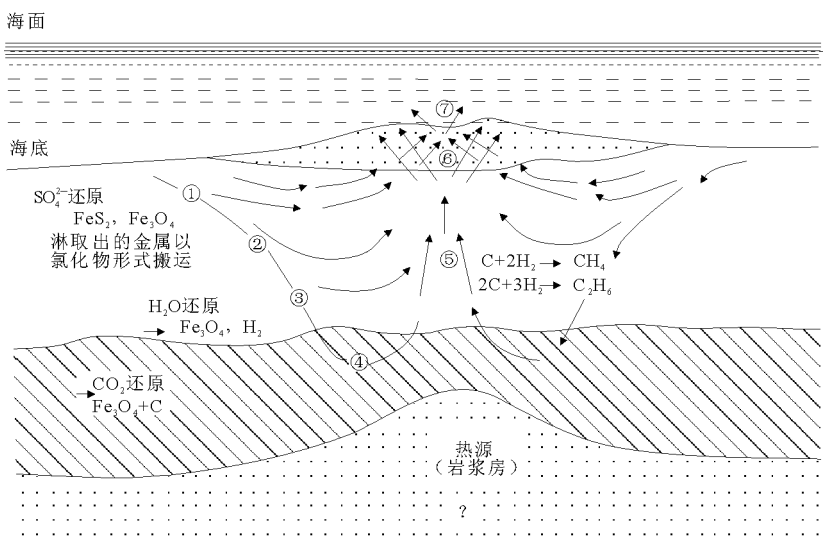


图 2　在一个由 Fe^{2+}（呈 2 价铁硅酸盐）缓冲的系统内含盐原生水或海水的对流循环（据 Hutchinson et al.，1980）

向下循环（流入）：①“浅部”—硫酸根的还原作用；SO_4^{2-}＋二价铁硅酸盐→黄铁矿、磁铁矿；②金属从 2 价铁硅酸盐和其他硅酸盐结构中淋滤出来，并以各种金属氯化物的配合物迁移；③“较深部”—水的分解作用：H_2O＋二价铁硅酸盐→磁铁矿＋H_2；④CO_2＋二价铁硅酸盐→磁铁矿＋C，产生强烈还原的富含 H_2 和 C 的盐度不断增加的流体；向上循环（流出）；⑤碳-氢结合：$C+2H_2$ 或 $2C+3H_2$→轻的碳氢化合物 CH_4 或 C_2H_6，产生强烈还原富含 CH_4 和 C_2H_6 的高盐度流体；海底喷口；⑥“较深部”—在水与海底界面以下的系统，发生蚀变和生成硫化物细脉；⑦“海底表面”—在沉积物与水界面上，块状硫化物沉淀

黄金地质研究所
信息室 提供

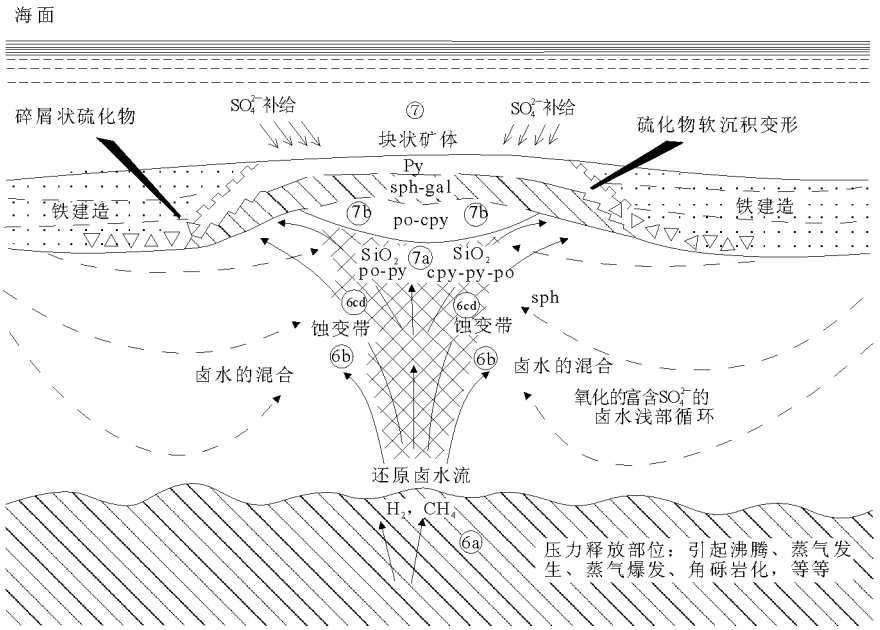


图 3　海底喷口（据 Hutchinson et al.，1980）

①“较深部”—在水与海底界面之下的喷口系统中：a）压力释放引起沸腾，蒸气爆发，角砾岩化开始；b）浅部循环的富硫酸根的氧化卤水与深部循环的还原卤水发生混合反应；c）在裂隙中沉淀 FeS，FeS_2，$CuFeS_2$，SiO_2；d）由气、液与震裂的多孔岩石之间的反应所造成的岩石蚀变，在喷口系统的蚀变岩石中形成具分带的富铜的浸染状矿石（硅质矿石）；②“海底表面”—在沉积物与水的界面上，沉积块状硫化物矿石：a）还原的卤水喷到海底；b）喷出的还原卤水与海水混合，反应；在不同的 pH，Eh 条件下，所有的金属硫化物，SiO_2，碳酸盐，磁铁矿等作为“喷出的”化学沉积物沉淀下来，形成具有明显的金属分带的块状、条带状矿石（黄矿、黑矿），软沉积变形矿石，碎屑矿石、含铁层的各种“相”等

矿床与海底火山机构的关系，推出了该类矿床的流行成因模式（图 4）。

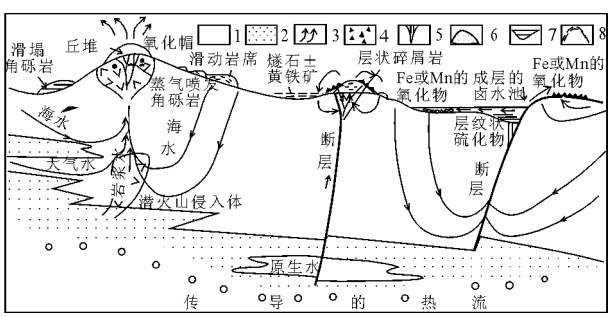


图 4　与火山岩有关的块状硫化物矿床流行成因模式（据 Franklin et al.，1981）

1—渗透岩；2—非渗透岩；3—热液流动路线；4—角砾状矿石；5—网脉状矿石；6—非构造破碎状矿石；7—层纹状矿石；8—层状矿石

该成因模式除将贱金属块状—层纹状矿的富集与海底火山机构联系之外，还将与潜火山侵入体有关的岩浆水与海水和大气降水联系起来，同时将火山机构和断裂系统与对流循环系统联系起来，还将贱金属与铁、锰等金属分带联系起来。

Huston D L 等（1995）认为：控制以铅-锌为主贱金属与以铜为主贱金属块状硫化物矿富集的因素在于岩浆房的深度或两者联系程度（图 5）：很明显，前者（A）深度较大，与成矿对流循环系统不直接沟通，只作为热异常出现，故它们的温度限制于 200～250 ℃；相反后者（B）深度较浅，与成矿对流体循环系统已直接沟通，岩浆水已参加海水和大气降水的循环机制，它们温度通常在 300～350 ℃之间。

到达海底的成矿流体能否沿古斜坡向下流动，并在水下凹地中集聚形成卤水池呢？Sato（1972）以氯化钠溶液的温度-密度-盐度相互关系为基础描

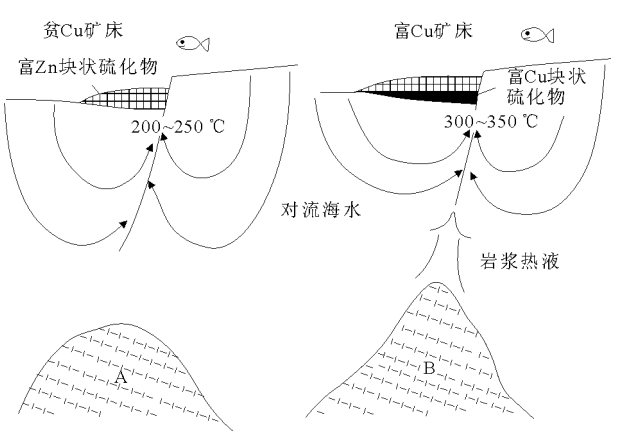


图 5　推断的岩浆和岩浆热液在火山岩型块状硫化物矿床中的重要性的模式图解（据 Huston，1995）

黄金地质研究所
信息室 提供

述了热水溶液（没有沸腾）进入海底环境后可能出现的卸载情况。假设混合流体的温度是混合度的线性函数，并设矿石矿物的沉淀作用主要取决于最初的冷却程度，他计算了温度-密度的变化，并取决于热水溶液的最初温度和盐度（图 6，7），预料可能会出现 3 种不同类型的情况。

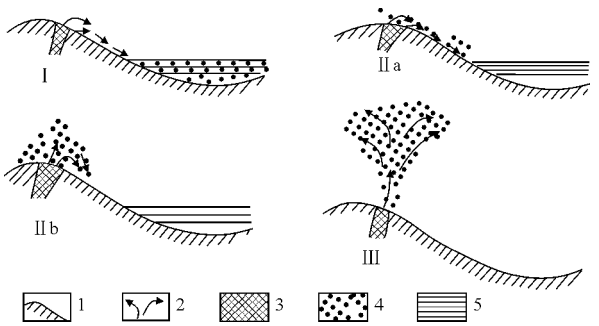


图 6　4 种类型热液进入海底环境卸载的可能情况图（据 Sato，1972）

1—海底；2—热水溶液流动路线；3—通道带；4—硫化物集结带；5—成层卤水池

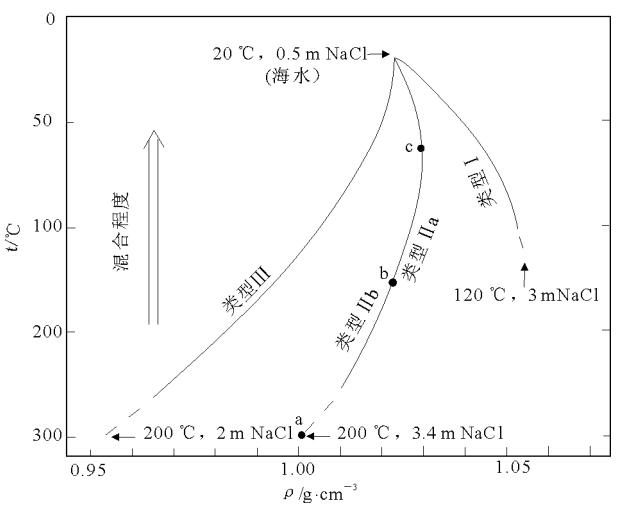


图 7　由 2 种 NaCl 溶液混合所引起的 4 种型式密度变化图（据 Sato，1972）

类型Ⅰ，热水溶液的密度始终比海水的密度大，因而，溶液将沿着海底斜坡往下流动并且在地形的低凹处以成层的卤水池形式集中起来。在卤水池内，从上部开始发生沉淀作用而使矿石堆积起来，矿床形态呈水平延伸的平伏状。

类型Ⅱa，热液最初比海水密度稍大（图 7b 点），但与海水混合后密度变得更大。这样新的热液就要穿过这种混合溶液而上升，并在接触面与海水混合。矿物的沉淀作用既在火山喷口附近发生，也在重卤水沿海底斜坡流动时在移动过程中发生。

类型Ⅱb，热液密度最初比海水小（图 7a 点），因而开始时热液向上喷射，当它与海水混合后密度变大，又回落到卸载带。与Ⅱa 类型相比，有更多的金属沉淀在喷出口附近。

类型Ⅲ，热液始终比海水密度小，因而在喷口处不断向上喷射。矿物在喷口附近沉淀，但散落范围较广。

热液到达海底后可能会出现上述 4 种情况是佐藤 1972 年提出来的。1978 年，人们通过加热酒精在水中形成喷射柱的实验证明了这种可能性。该实验表明，因密度梯度的不同，轻液体向上形成股股上涌的流体柱，在达到平衡的高度处，轻液体流停止上升，并在其自身密度的水平位置上向两边扩展。更有意义的是，这种根据曲线预测和由实验证明的现象，不久（1979 年春）就被在北纬 21°东太平洋海岭顶部发现的“黑色烟囱”所证实。

在此推出 3 个成矿模式：第一成矿模式是针对中新世日本海底弧后盆地块状硫化物矿床的，第二成矿模式是针对我国三叠纪晚期义敦岛弧的块状硫化物矿床的；第三成矿模式是针对我国寒武—奥陶纪北祁连岛弧（白银厂）块状硫化物矿床的。

Horikoshi E 和 Sato T（1970）及 Sato T（1974）推出日本黑矿成矿模式（图 8）。

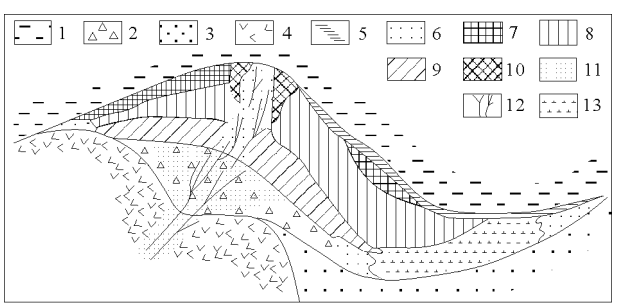


图 8　典型黑矿矿床的理想剖面图（引自 Sato，1974；Horikoshi and Sato，1970）

1—酸性凝灰岩；2—爆发角砾岩；3—酸性凝灰岩、角砾岩（下盘）；4—白色流纹岩穹隆；5—含铁燧石；6—粘土；7—重晶石矿；8—黑矿（kuroko）：块状方铅矿-闪锌矿-重晶石（黄铜矿-黄铁矿）；9—黄矿（Oko）：块状黄铁矿-黄铜矿；10—未能分带的矿；11—硅质矿（kelko）；12—黄铁矿、黄铜矿-石英细脉或网脉状；13—石膏矿

黑矿产于日本中新世弧后盆地，容矿岩石为绿色凝灰岩，矿带长 1 500 km，宽 100 km，由 3 000 m 厚火山岩和沉积岩组成。这些岩石受中新世断裂和弧后扩张海盆控制。50% 以上黑矿产于北鹿地区中新世盆地内，矿床大致排列成环形产于盆地外缘，主要矿床分布明显表现出一种群集性，故有人

黄金地质研究所
信息室 提供

认为矿床的分布受破火山口或塌陷构造控制，但也有人认为是受基底断裂的控制。

中新世绿色凝灰岩地层被划分成 4 个阶（由下而上）：门前阶由安山质凝灰角砾岩组成，下伏于盆地大部分地区；台岛阶由安山质砂岩和砾岩组成，还有少量泥岩、安山岩、英安岩和粗玄岩；西黑泽阶下层由玄武质熔岩流和泥岩组成，上层为凝灰岩和英安质熔岩组成，上层含有矿体，赋矿岩石主要由以下几种岩石组成：1）英安质熔岩流，包括白色流纹岩穹隆和长英质熔岩舌；2）分选良好的喷发角砾岩；3）由英安岩碎块和玄武岩、泥岩和古生代岩石碎块组成的角砾岩；女川阶主要由凝灰岩和泥岩构成，分布于盆地的西部。此外盆地的东北部还有 300～400 m 厚的枕状玄武岩覆盖在矿床之上。

黑矿型矿床大多数赋存于一层稳定的长英质碎屑岩之上，近矿下盘出现白色流纹岩穹隆和角砾岩。

黑矿型矿床大多数矿床金属分带十分清楚。

1）硅质矿带，主要由黄铁矿-黄铜矿-石英网脉组成。原生酸性火山岩构造尚可辨认。

2）石膏矿带，主要由石膏-硬石膏（黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿-石英-粘土）组成，或分布于硅质矿的顶部和侧部，或出现在黄矿的侧部。

3）黄铁矿带，主要由黄铁矿（-黄铜矿-石英）组成，层状，但偶尔也呈脉状或浸染状。

4）黄矿带，主要由黄铁矿-黄铜矿（-闪锌矿-重晶石-石英）组成，呈层状。

5）黑矿带，主要由闪锌矿-方铅矿-黄铜矿-重晶石组成，呈层状，在该带顶部，黝铜矿-砷黝铜矿较多，在少数矿床内还有斑铜矿。

6）重晶石矿带，几乎全由重晶石组成，但有时含少量方解石、白云石和菱铁矿，常呈薄层状。

7）含铁燧石层，主要由隐晶质石英和赤铁矿组成，呈薄层状。

当然，上述 7 个带都完整出现的矿床并不多，大多数矿床不同程度地缺少某一个或某几个带，而其他的带则相应地较为发育。

侯增谦等（2003）推出了我国白银厂矿床成矿模式（图 9）。该模式代表寒武纪火山岛弧环境有大陆基底的 VMS 矿床，对于火焰山和折腰山矿床来说，为典型的 Cu-Zn 建造，对小铁山矿床而言，为 Cu-Pb-Zn 建造，说明小铁山矿床以上部建造为主。该含矿岩系为典型的双峰式细碧岩—石英角斑岩，但主要赋矿岩层为长英质火山杂岩，其中包括石英角斑熔岩和同成分凝灰岩。石英钠长斑岩为长英质岩浆最终演化产物，产于破火山口中，通常受不同程度的热水蚀变，例如绿泥石化、绢云母化和硅化等。矿化分带性明显，由上而下分为 5 带：

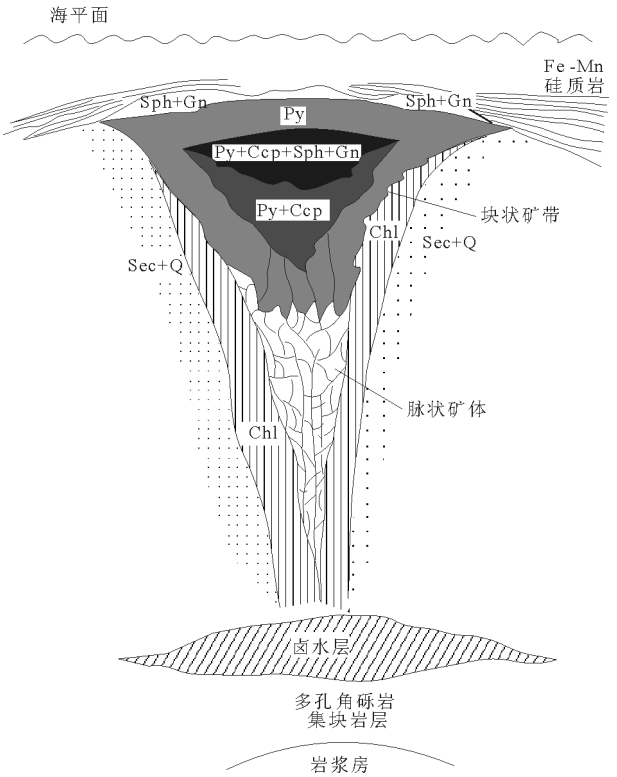


图 9　白银厂 VMS 矿床成矿模式

1）铁-锰质硅质岩，呈层纹状；

2）层纹状 Pb-Zn 矿透镜体，产于石英角斑凝灰岩顶部；

3）块状磁黄铁矿-黄铁矿矿筒；

4）块状磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿筒；

5）细脉浸染状黄铁矿-黄铜矿矿体。

侯增谦等（2003）推出了我国呷村矿床成矿模式（图 10）。该模式代表晚三叠世岛弧裂谷带的火山环境，从矿石建造来看它介于日本黑矿与白银厂矿田之间，从 Pb-Zn 建造发育程度来看呷村不如日本黑矿，而胜于白银厂矿田。这说明呷村是在大陆基底上发育起来的，更接近弧后盆地。

白玉—义敦弧间扩张带的火山岩盆地主要分布于扩张带的东侧，例如呷村盆地、赠科盆地、乡城盆地和中旬盆地等。火山岩具有大洋-岛弧过渡型玄武岩的特征，从火山岩系来说也具有双峰式岩石组合特征，成矿发生于火山旋回末期，介于酸性火山岩与沉积岩之间，例如矿体产于酸性火山岩最上

黄金地质研究所
信息室 提供

部的流纹质（呷村矿床）或英安质（嘎衣穹矿床）火山碎屑岩内部和顶部，并被喷气沉积岩、灰岩、板岩和千枚岩等整合覆盖。矿化金属分带（图 10）由上而下明显分为 3 个带：

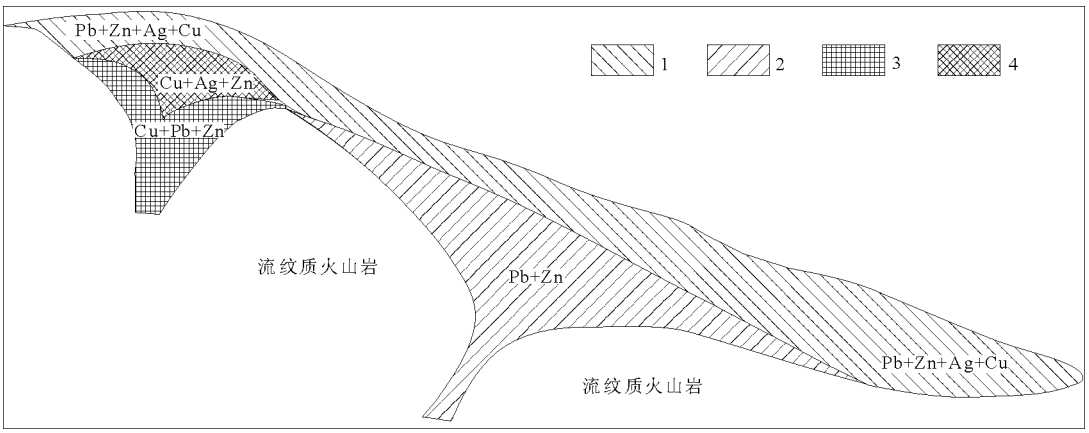


图 10　呷村 VMS 矿床成矿模式图

1—层状硫化物矿石；2—脉—网脉状硫化物矿石；3—脉状硫化物矿石；4—块状硫化物矿石

1）层纹状硫化物矿石，成矿元素由 Pb＋Zn＋Ag＋Cu 组成，分布于海底系统；

2）块状硫化物矿石或脉—网脉状硫化物矿石，前者由 Cu＋Ag＋Zn 等成矿元素组成，分布于破火山机构的顶部，后者由 Pb＋Zn 等成矿元素组成，分布于另一破火山机构中；

3）脉状硫化物矿石，由 Cu＋Pb＋Zn 等成矿元素组成，分布于破火山机构中。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

与海相火山岩有关的铅-锌矿床的主要特征

这类矿床分布极广，遍及全球，涉及各个地质时代。目前所知道的最老的格陵兰伊苏亚 VMS 矿床，岩石年龄 37 亿年以上，西澳大利亚皮尔巴拉地块的含矿火山岩年龄 34 亿年以上。而太平洋中脊目前正在活动的黑烟囱可能发育年轻的 VMS 矿床。

据报道，目前世界上至少发现了 400 多个工业矿床。它们主要分布于加拿大、美国、中国、俄罗斯、葡萄牙、西班牙、哈萨克斯坦、日本和南非等地。这些矿床为铅、锌的重要来源，另外也提供了金、银、硒、锡、铋的可观储量。

这类矿床称之为块状硫化物矿床的同时，有时谓黄铁矿型铜矿，因为矿石中硫化物有时占 60% 以上，这些块状—层纹状矿石形成于海底系统，以层状为特征，是同生成因；形成于补给带（Freeder zone）的矿石，通常为细脉浸染状和角砾状，它们为后生成因，矿体常呈漏斗状，交切围岩。

这类矿床至少可以分成铜-锌型矿床和锌-铅-铜-银型矿床 2 个亚类型（表 1）。

1　铜-锌型矿床

这些矿床以前寒武纪矿床为特征，例如加拿大地盾，中国清原地核以及北美的其他元古宙地块。

在加拿大的苏必利尔区的许多太古宙绿岩带中都产有这类矿床，在加拿大采矿史上享有盛名，形成许多采矿中心。例如诺兰达地区共划出 5 个长英质岩和安山岩带，在 2 个长英质活动期之间为镁铁质火山活动期，大多数矿床都产于长英质火山活动的第三带内。在矿床的上盘和下盘均有石英长石斑岩侵位其间。在矿体下盘往往有不整合的蚀变岩筒，在蚀变岩筒中有达到工业品位或作矿化标志的细脉浸染状硫化物。

层状—层纹状矿石硫化物一般达 80%。上盘方向块状矿石由黄铁矿和闪锌矿交互条带组成，含少量黄铜矿，再向上和向外，燧石凝灰岩夹层增多，与上覆安山岩具截然的接触界线。上部的黄铁矿-闪锌矿组合往下过渡为黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿组合，后者局部呈条带状，有时含星散的磁铁矿。块状硫化物常具有明显的与地层层序相关的垂直分

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 铅-锌矿床类型及特征

有关含矿岩系	矿床类型	成矿环境	成矿条件	矿床实例
与火山岩有关矿床	与海相火山岩有关的矿床(VMS)	优地槽	与海相火山岩盆地有关的热卤水喷流到海底系统和通道中沉淀下来,形成同生和后生2种矿石	日本 Kuroku 中国小铁山
	与陆相火山岩有关的矿床	造山带和活化带	与陆相火山岩盆地有关的热卤水在通道中沉淀出来,形成后生矿床	秘鲁 Cerro de Pasco,中国五部
与海相沉积岩有关矿床	与海相细碎屑岩有关的矿床(SEDEX)	冒地槽	与海相冒地槽盆地有关的热卤水喷流到海底系统和通道中沉淀下来,形成同生和后生2种矿石	加拿大 Sullivan 中国厂坝
	与海相碳酸盐有关的矿床(MVT)	大型克拉通碳酸盐盆地	与大型克拉通海相碳酸盐盆地有关的热卤水运移到盆地边缘碳酸盐中沉淀下来,形成后生矿石	美国 Viburnum Trend 中国凡口
	与陆相—浅海相砂岩有关的矿床(砂岩铅矿)	剥蚀构造单元的边缘海侵层序	剥蚀构造单元的铅带到海侵层序中在岩石孔隙里沉淀,形成铅矿石	德国 Maubach-Meaherunch
与陆相碎屑岩有关的矿床	金顶式铅-锌矿床	特殊的挤压断陷盆地	挤压盆地热卤水沿推覆断裂带上升,沉淀在通道中,形成后生矿石	中国金顶
与长英质岩浆岩有关的矿床	夕卡岩型铅-锌矿床	构造-岩浆活动带	花岗质岩与碳酸盐岩接触带外带的混合热卤水形成后生矿石	美国 Bingharn,中国水口山
	斑岩型铅-锌矿床	构造-岩浆活动带	在长英质高位体顶部的混合热卤水形成后生矿石	中国冷水坑
	热液脉状型铅-锌矿床	构造-岩浆活动带	在构造-岩浆带附近形成的后生矿石	美国 Coeurd Alene,中国东坡

带，向上富锌，向下富铜。这反映出分带与层序的增高和时间的推移有关。有些情况下，硫化物组合的分布呈同心状，如阿穆莱特、米伦巴克和诺贝克矿床的核心均为磁黄铁矿-黄铜矿，往外为黄铁矿-闪锌矿。总体来看，块状矿的下盘与筒状蚀变带中的细脉浸染状矿石之间为过渡关系，而与未蚀变的上盘火山岩之间是截然的沉积接触关系。

该类矿床的火山岩系总的为双峰式火山岩套，我国通常将双峰式火山岩套称之为细碧角斑岩系，细碧岩为镁铁质火山岩，角斑岩为长英质火山岩。矿石往往产于火山岩穹隆中（图 1～4）。这些火山

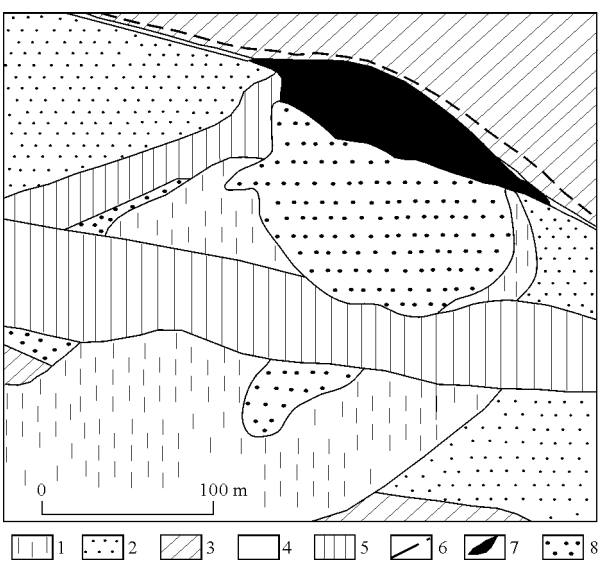


图 1 诺兰达地区诺贝克矿床的简略 EW 向剖面图

（地层倾斜如图示）

1—蚀变岩；2—流纹岩；3—安山岩；4—闪长岩；5—燧石凝灰岩；6—断层；7—块状矿石；8—细脉状矿石

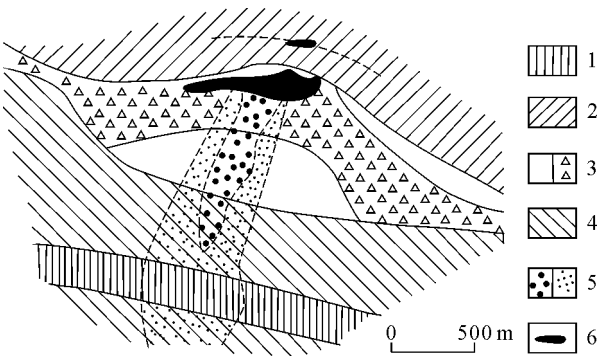


图 2 诺兰达地区东韦特矿床 EW 向示意剖面图

表示硫化物矿体与流纹岩穹隆和角砾岩的伴生关系

1—闪长岩；2—Amulet 安山岩；3—Waite 流纹岩/角砾岩；4—Waite 安山岩；5—绿泥石/黑云母蚀变；6—块状矿

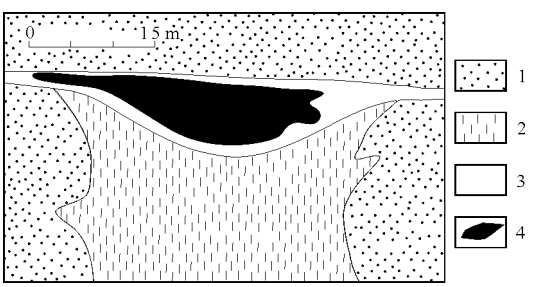


图 3 诺兰达地区德尔布里奇矿床透镜体 B 约在 850 中段的平面图

1—蚀变(岩筒)岩;2—流纹质角砾岩;3—燧石质矿石;4—块状矿

岩系的核部通常为一套杂岩。这些侵入杂岩和同期火山岩堆的拉斑玄武岩都是火山作用产物。

在安大略的提敏斯地区产有基德克里克超大型 VMS 矿床和坎科蒂亚附近的几个小型矿床，基德克里克矿床已被证明属于太古宙矿床。其下盘为流

黄金地质研究所
信息室 提供

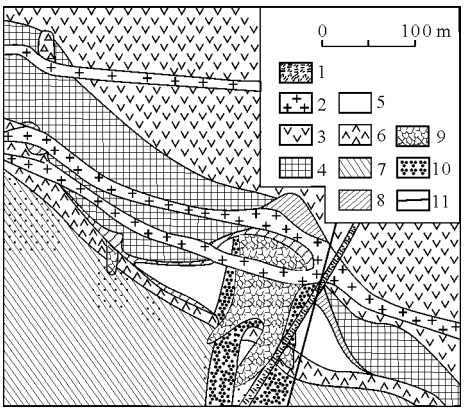


图 4　诺兰达地区米伦巴克矿山剖面图

1—闪长岩；2—酸性岩墙；3—Amulet 安山岩；4—上石英长石斑岩；5—下石英长石斑岩；6—Millenbach安山岩；7—流纹岩；8—块状硫化物；9—细脉状硫化物；10—达尔马提亚岩；11—断层

纹岩和碎屑长英质岩，上盘为枕状镁铁质岩。在上盘岩石中存在 1 层碳质泥岩层，明显为火山活动间歇的证据。

大多数前寒武纪 VMS 矿床产于一套厚达数万英尺的火山杂岩中，火山岩系由 3 部分组成：下部杂岩以玄武岩为主的厚层状和多孔状熔岩流；中部以安山岩为主的熔岩流、熔岩角砾岩和凝灰岩；上部主要为英安岩至流纹岩为主的火山岩，同时有不等的火山碎屑岩。酸性岩相通常标志着一个单一的火山旋回的结束。当火山作用止息时，该杂岩则部分或全部被火山碎屑质杂砂岩沉积代替或覆盖。火山作用的衰减通常与沉积作用兴盛是同时发生的。它们之间过渡关系是难以察觉的。

含矿火山岩的喷发与侵入作用相互联系，各种各样的侵入体可以与火山岩一起当成岩浆房的一部分。

与大多数矿体直接邻近的最常见的容矿岩石为酸性火山岩相，尤以酸性火山碎屑岩更为常见（图 5）。集块岩、粗凝灰岩和英安质到流纹质岩流构成许多 VMS 矿床含矿岩层。矿体可能完全产于火山岩堆的酸性火山岩中，或产于英安岩（流纹岩）与

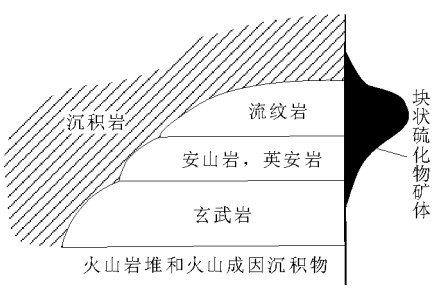


图 5　太古宙火山岩堆中火山岩和沉积岩内块状硫化物矿床的相对丰度示意图

英安岩之间的接触带。一个火山岩堆可以由多个（几个至十几个）旋回，其中具有一个火山旋回的酸性火山岩中为主要含矿岩石。

酸性集块岩与 VMS 矿体之间的紧密空间关系是前寒武纪大多数矿床的一个典型特征。通常 1/3 以上的火成碎屑是由岩块或更粗一些的岩屑组成，Sangster 称之为选厂岩（Mill rock），大多数前寒武纪块状硫化物矿床的 0.5 英里范围内都能见到选厂岩。

除选厂岩外，石英斑岩也是常见的容矿岩石。在许多地区，地质人员往往很难确定是喷发还是侵入的，因为同成分的岩石侵入的或喷出的 2 种产状都具备。

在这套杂岩中，玄武岩和安山岩发育的大量枕状构造，以及杂砂岩中粒序层和燧石铁质建造等都表明前寒武纪火山岩系为海相沉积环境。

从成分上看，这套火山岩系起源于拉斑玄武岩型母岩浆分异产物，类似于拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩-安山岩-流纹岩组合。显生宙将这套岩石确定为岛弧或优地槽环境。在这种体制演化下，继钙碱性火山岩喷发后，紧接着总是出现造山运动，因此显生宙 VMS 矿床都普遍变质了。

大多数块状硫化物矿床都成群产出，特别是加拿大的苏必利尔和丘吉尔 2 个构造省。规模不等的矿床成群分布于直径 16～32 km 的范围内。这些地区具有椭圆形或环形特征，成群成带产出为块状硫化物矿床的显著特征。成群可能是针对一个火山堆来说的，成带是指几个火山堆连接成一个带。

喷气岩通常是指含铁的氧化物相、碳酸盐相、硫化物相和硅酸盐相，其中最常见为含铁燧石层。燧石层常作为火山喷气作用的重要标志，许多块状硫化物矿床中常有燧石沉积，朝矿体方向常常燧石层厚度加大，锌含量也增高。因此燧石层用来追踪矿体。有时，块状硫化物丘堆被燧石胶结，十分牢固，上部又覆盖着安山岩。在古生代地层中，燧石层含重晶石、菱铁矿和氧化铁。

我国典型的 Cu-Zn 建造可以红透山矿床为例。该矿床产于太古宇清原群绿岩带中，清原群红透山组从上而下为厚层角闪斜长片麻岩层、黑云斜长片麻岩层、石榴子石角闪片麻岩层和巨厚角闪片麻岩层。地层由下而上构成一个比较完整的由基性火山岩到中酸性火山-沉积岩旋回。

红透山矿床已发现 30 余条矿体，其中工业利用的 8 条，集中于向形构造西部倾竖褶皱枢纽内，被 2 层斜长角闪片麻岩所限定的部位。矿体呈似层

黄金地质研究所
信息室 提供

状、大扁豆状和不规则脉状等。金属矿物有黄铁矿（30%～65%）、磁黄铁矿（20%～30%）、闪锌矿（5%～10%）、黄铜矿（0～10%），其次有方铅矿、方黄铜矿和辉钼矿等。主要有用组分为 Cu，Zn 和 S，伴生组分有 Au，Ag，Cd，In，Te，Ga，Co，Bi，Mo，Ni 等。近矿围岩蚀变有透闪石化、硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化等。

2 锌-铅-铜-银型矿床

这类矿床大多数为多金属建造，即锌、铅占有很重要位置。而且这类矿床大多数形成于显生宙。似乎从显生宙开始大陆壳占有很重要位置。又似乎有许多优地槽是在大陆壳的基底上发展起来的，因此，在 VMS 矿床中锌-铅-铜型建造大量出现。而日本黑矿锌-铅与铜相比更占有重要位置，更证明日本黑矿形成于弧后盆地，是与大陆壳的基底上张裂有关。

另外，在这类矿床中杂砂岩、长英质火山碎屑岩等沉积岩含量增加了。

许多加里东期优地槽（如北美的阿帕拉契山、中国祁连山、澳大利亚东部和斯堪的纳维雅亚半岛等）、华力西期优地槽（葡萄牙、西班牙、矿山阿尔泰和乌拉尔山等）、中生代优地槽（巴尔干半岛、中国的四川西部和中亚等）和新生代优地槽（日本北鹿等）都产有锌-铅-铜型 VMS 矿床。

现以中国北祁连加里东褶皱带中小铁山矿床为例说明。该矿产于中寒武世偏碱性、钙碱性中酸性火山岩系或细碧角斑岩系的酸性端元——酸性火山凝灰岩和层凝灰岩中（图 6）。矿体上盘为绿泥石片岩和千枚岩，下盘是石英钠长斑岩，矿体赋存于石英角斑凝灰岩中，呈似层状和透镜状，与围岩产状一致。

第二个例子列举加拿大巴瑟斯特成矿区。这里

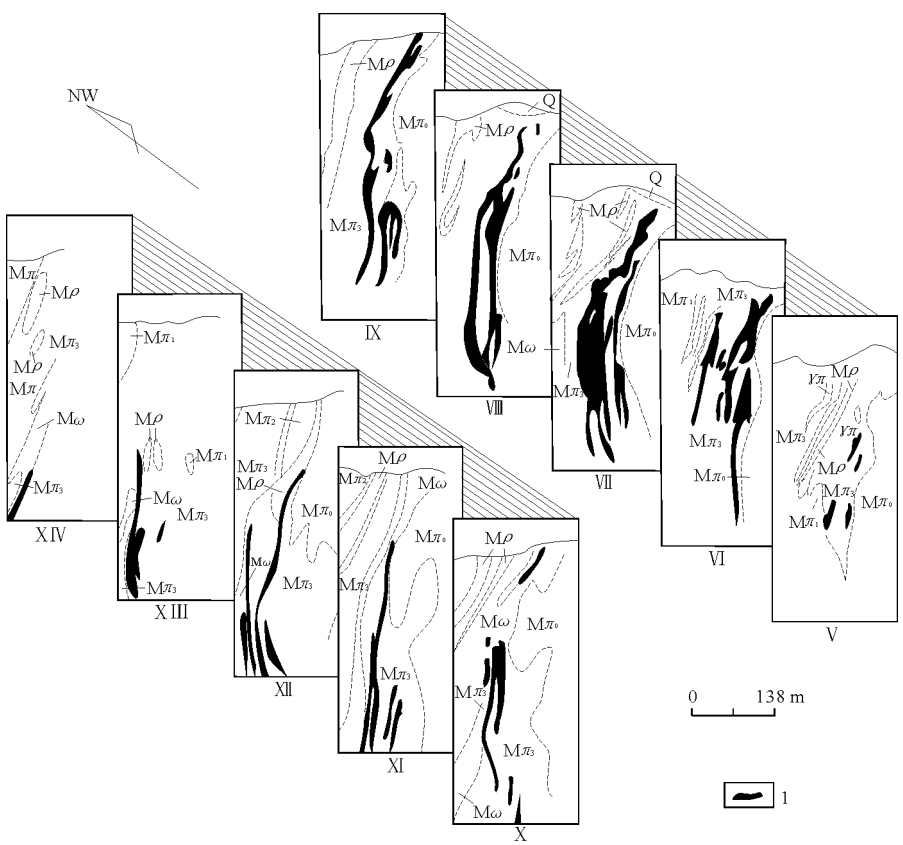


图 6 甘肃小铁山块状硫化物矿床系列剖面图（据邬介人等，1994）

Mω—绿泥石片岩；Mρ—千枚岩；Mπ₀—石英钠长斑岩；Mπ₁—石英角斑岩；Mπ₂—石英角斑质凝灰熔岩；Mπ₃—石英角斑质凝灰岩；γπ—花岗斑岩；1—矿体

有 2 个奥陶纪火山喷发中心，该区共有 30 个 VMS 矿床，最大的为巴瑟斯特 12 号矿床，铅、锌 1 070 万 t。地层层序分为上下 2 个单元：下部为石英砂岩；上部为泥质岩，2 个单元之间夹有火山岩，从长英质火山岩开始，以玄武质火山岩告终。矿体与长英质火山岩有关，也与含锰沉积物有关。含锰层

黄金地质研究所
信息室 提供

位往往成为找矿标志。在块状矿体上部又出现含铁建造，形成含锰的铁矿层，有人认为块状硫化物矿代表硫化物相，上部铁矿层代表氧化物相。

含铁建造又可进一步划分为5个亚建造：燧石质磁铁矿建造，由磁铁矿、赤铁矿、石英、碧玉、钠长石组成；富铁绿泥石建造，由绿泥石（30%）、磁铁矿（15%）、石英（20%）、钠长石（少量）组成；富铁碳酸盐建造；基性含铁建造，由磁铁矿绿泥石组成；褐红色富铁页岩。

矿石为层纹状和块状，金属矿物以闪锌矿、方铅矿为主，黄铁矿少量。矿石曾经历4次变形。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

新疆可可塔勒铅-锌矿床

可可塔勒铅-锌矿床位于新疆阿勒泰专区富蕴县境内，地理坐标为北纬47°21′10″，东经89°11′54″，距阿勒泰市约95 km，是新疆目前最大的铅-锌矿床。

可可塔勒矿床于1986年检查化探异常，评价铁帽时被发现，已控制铅＋锌金属量约300万t，平均品位铅1.51%，锌3.16%，铜0.08%，其中铅＋锌大于8%的富矿体约占30%。目前该矿已由地方企业小规模开采。

1 成矿环境与火山岩系特征

阿尔泰山南缘与铅-锌成矿有关的下泥盆统康布铁堡组火山-沉积岩系，分为上下2个亚组。麦兹地区康布铁堡组下亚组（D_1k_1）为一套变细碧岩-石英角斑岩-沉积岩建造，厚度约3 000 m，产有蒙库大型铁矿床；上亚组（D_1k_2）为一套变中酸性火山岩（熔岩、火山碎屑岩）-碎屑沉积岩-碳酸盐岩建造，厚度约4 600 m，可可塔勒铅-锌矿床即赋存在上亚组第二岩性段中部（$D_1k_2^2$）。

1.1 矿区构造

麦兹向斜区域构造线总体走向310～320°，地层陡倾，倾向以NE为主，核部为阿勒泰组，两翼为康布铁堡组，NE翼倒转。可可塔勒铅-锌矿床位于麦兹倒转向斜之NE倒转翼的SE端近转折部位（图1），矿区构造较为简单。

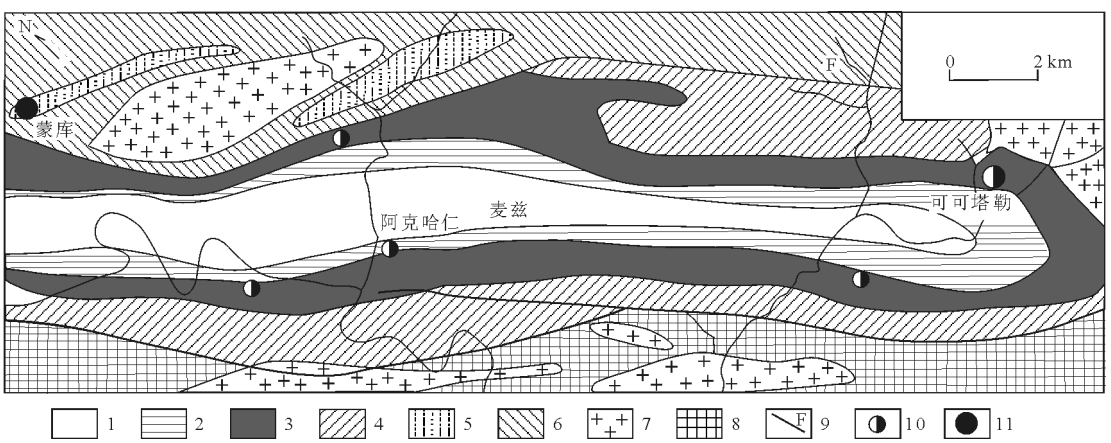


图1 麦兹向斜地质略图

1—中泥盆统阿勒泰组片岩、变质砂岩、大理岩；2—下泥盆统康布铁堡组上亚组第三岩性段；3—下泥盆统康布铁堡组上亚组第二岩性段；4—下泥盆统康布铁堡上亚组第一岩性段；5—下泥盆统康布铁堡组下亚组第二岩性段；6—下泥盆统康布铁堡组下亚组第一岩性段；7—华力西期花岗岩类；8—前寒武纪基底岩系；9—断裂；10—铅-锌矿床；11—铁矿床

1.2 矿区地层与火山沉积旋回

可可塔勒矿区地层分布见图2。根据科依来普实测剖面，可可塔勒矿区康布铁堡组上亚组（D_1k_2）层序如下。

中泥盆统阿勒泰组（D_2a）

灰黑色十字石榴夕线二云石英片岩

——整　　合——

上亚组第三岩性段（$D_1k_2^3$）

21	二云石英片岩、斜长角闪片岩夹大理岩	173 m
20	片岩、大理岩夹变英安岩	210 m
19	变英安岩、变英安质火山角砾岩、火山角砾凝灰岩	439 m

黄金地质研究所
信息室 提供

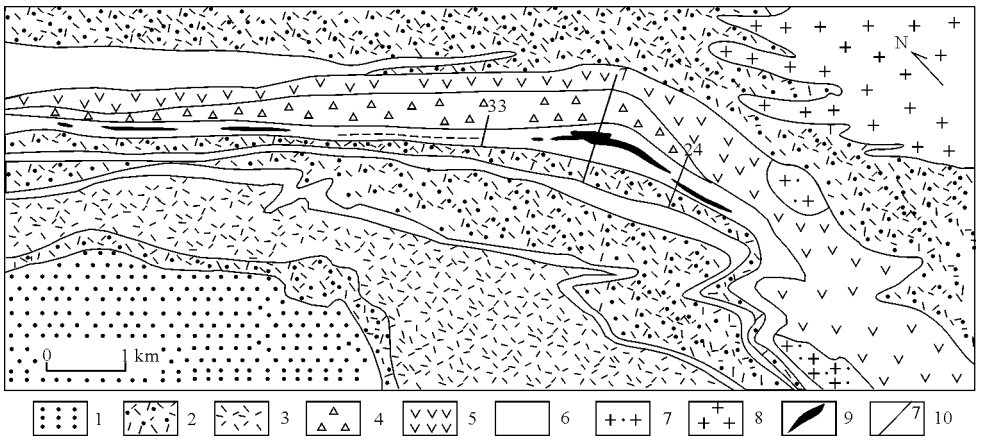


图 2 可可塔勒矿区地质图

1—中泥盆统阿勒泰组片岩、大理岩；2—下泥盆统康布铁堡组上亚组变角砾晶屑凝灰岩；3—下泥盆统康布铁堡组上亚组变晶屑凝灰岩；4—下泥盆统康布铁堡组上亚组变角砾集块熔岩；5—下泥盆统康布铁堡组上亚组变酸性熔岩；6—下泥盆统康布铁堡组上亚组变酸性熔岩；7—次火山岩（花岗斑岩、石英斑岩）；8—华力西期花岗岩；9—铅-锌矿体；10—勘探线及编号

18 长石石英砂岩、变流纹质晶屑凝灰岩、铁锰质大理岩 121 m
17 灰白色变流纹岩夹灰色变石英斑岩 79 m
16 变英安岩—变砂岩、片岩互层 222 m
15 变流纹凝灰岩、石英岩夹褐色大理岩 135 m
上亚组第二岩性段（$D_1k_2^2$）
14 褐色铁锰质大理岩（标志层） 27 m
13 二云石英片岩，具变余层理构造 19 m
12 变流纹岩、变流纹质角砾晶屑凝灰岩 26 m
11 片岩、变粉砂岩，见变余层理 12 m
10 褐色至黄褐色铁帽带（铅锌矿化体） 11 m
9 变粉砂岩，具变余层理 29 m
8 灰白色条带状磁铁石英岩、微晶石英片岩（喷流岩），具变余层理 32 m
7 片岩、变条带状粉砂岩，具变余平行层理 24 m
6 变流纹质火山角砾岩、角砾凝灰岩、流纹岩 52 m
5 黑云片岩，局部夹变石英斑岩 19 m
4 变流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩 219 m
上亚组第一岩性段（$D_1k_2^1$）
3 灰黑色石榴夕线黑云石英片岩，见变余斜层理（标志层） 317 m
2 变流纹质凝灰岩与变石英斑岩互层 133 m
1 变砂岩、含砾凝灰质长石砂岩，具变余层理 74 m
未见底，其下为灰白色混合花岗岩及灰白色二云斜长片麻岩 ＞523 m

从火山沉积作用特点分析，康布铁堡组上亚组（$D_1k_2^1$）可大致划分出 3 个火山-沉积旋回，以可可塔勒矿区为例。

第一旋回（$D_1k_2^1$），火山活动相对较弱，火山岩与沉积岩厚度之比为 0.34∶1，形成一套流纹岩、流纹质凝灰岩—片岩、变砂岩组合。

第二旋回（$D_1k_2^2$），该阶段火山活动十分强烈。火山-沉积岩总厚度为 470 m，火山岩与沉积岩厚度之比为 1.71∶1，早期以火山喷发为主，形成了一套以爆发相为主的中酸性火山碎屑岩建造，岩石类型为火山角砾岩、角砾集块岩等，晚期以沉积作用为主，形成一套片岩、变粉砂岩、大理岩建造，并伴有铅-锌矿化。根据次级火山-沉积作用，还可分为 3 个亚旋回。

$D_1k_2^{2c}$，变流纹质角砾晶屑凝灰岩—变粉砂岩、铁锰质大理岩；$D_1k_2^{2b}$，变酸性熔岩、变角砾晶屑凝灰岩（局部为集块熔岩、凝灰角砾岩）—纹层状磁铁硅质岩和条带状微晶石英片岩（喷流岩）—铅-锌矿化层（硫化物矿体、片岩、变粉砂岩、大理岩）；

$D_1k_2^{2a}$：变流纹质晶屑凝灰岩、流纹岩—黑云片岩。

第三旋回（$D_1k_2^3$），以间歇式火山活动为特点，形成一套中酸性熔岩、凝灰岩夹沉积岩建造，英安质成分增多。火山-沉积岩总厚度 1 350 m，火山岩与沉积岩之比为 1.47∶1。

1.3 火山-沉积洼地与矿下火山喷发中心

$D_1k_2^2$ 沉积时期，西侧的喀拉铁别为水下隆起区，唐巴拉为一水下斜坡区，可可塔勒为火山-沉积洼地，其东南段则为规模大的火山隆起。根据实测剖面资料，可可塔勒火山-沉积洼地，深度最大部位在 T20 至 T33 线之间（以 0 线为界，以东为单号，以西为双号），T47 线以西沉积厚度变小，至 T135 线又略有增大，后者可能受什根特沟西另一次级火山活动中心影响。T19 至 T12 线间为多层矿，向两侧变为单层矿。T8 线以东盆地明显翘起，矿体延伸减小（＜300 m）。这种矿体分布格

黄金地质研究所
信息室 提供

局与火山-沉积洼地一致。

矿体富厚地段与条带状微晶石英片岩也有一定关系。20线以东和93线以西该层主体为条带状磁铁石英岩，相应的矿层薄而贫；而55～8线间（7～0线间因覆盖而未见）该层主要为缺少磁铁矿的条带状微晶石英片岩（其深色层均含立方体黄铁矿），对应的矿体厚而富。表明55～8线间当时处于火山-沉积洼地中心的相对深水还原环境；而8线以东和55线以西渐成为浅水氧化环境。

麦兹盆地康布铁堡组上亚组沉积中期（$D_1k_2^2$），火山活动受科依来普（同生）断裂控制，整体上表现为链状（串珠状）火山构造，由裂隙式和中心式火山构造连结而成。可可塔勒矿区是麦兹盆地$D_1k_2^2$沉积时期火山活动最强烈的区段，主矿段（B11）矿下层的流纹质熔岩、角砾岩、凝灰岩发育，厚度巨大，火山角砾岩、集块岩断续总长达1 750 m，并被火山活动同期或稍晚期的潜火山岩体（石英钠长斑岩、细粒花岗岩）侵位，发育了火山喷发中心。矿床定位于火山隆起边侧的火山-沉积洼地（长12 km）中，已控制的矿化范围为7 km×0.6 km。

1.4 火山岩岩石学

矿区康布铁堡组上亚组火山岩以钙碱性系列流纹岩为主，次为英安岩（表1），SiO_2，集中在70%～78%之间，Na_2O，K_2O变化大。岩石类型主要有变流纹质熔岩、流纹质晶屑凝灰岩、流纹质火山角砾凝灰岩、流纹质火山角砾岩、集块岩、条带状变沉凝灰岩及英安质晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、英安质火山角砾岩等。

矿区附近还分布少量基性火山岩，多呈扁豆状

表1 可可塔勒科依来普剖面康布铁堡组上亚组第二主旋回（D_1k_2）岩石化学成分变化

亚旋回	次旋回	剖面厚度 m	火山岩建造	$w(B)$/%		
				SiO_2	Na_2O	K_2O
$D_1k_2^3$		1 230.6	钾钠质英安岩、钾质英安岩、钾钠质流纹质凝灰熔岩	62.49～68.99(5) 72.81～75.03(3)	1.22～7.45 3.69～4.50	2.43～7.13 1.64～4.49
$D_1k_2^2$	$D_1k_2^{2c}$	116.79	钠质、钾钠质流纹岩	75.17～79.20(2)	3.55～5.61	1.45～1.49
	$D_1k_2^{2b}$	158.76	钠质流纹岩 钾质流纹岩 基性火山岩	70.75～77.46(54) 70.39～72.11(3) 48.31～53.40(3)	5.70～6.97 0.17～1.49 1.70～3.88	0.22～0.74 5.89～12.12 1.38～3.24
	$D_1k_2^{2a}$	238.23	钾质流纹岩	71.66～74.64(4)	0.1～1.62	6.15～10.67
$D_1k_2^1$	$D_1k_2^{1b}$	441.19	钾质流纹岩 钾钠质流纹岩	75.28(1) 71.83(1)	1.41 2.85	6.25 3.28
	$D_1k_2^{1a}$	1 725.3	钠质英安岩 钠质流纹岩	66.10(1) 76.57(1)	6.17 5.84	0.28 0.88

括号内为样品数；据王京彬等，1998。

小夹层，其数量在矿区火山岩剖面上小于3%。

2 矿床地质特征

可可塔勒铅-锌矿床的直接容矿围岩根据变余结构、构造和原岩恢复，主要为片岩、变砂岩-粉砂岩、大理岩，即以正常沉积岩和凝灰质沉积岩为主，在靠近火山口上部（0～19线），产有角砾晶屑凝灰岩和变酸性熔岩小透镜体，表明在成矿过程中仍有微弱的火山活动。

2.1 铁帽（地表氧化矿体）特征

可可塔勒矿床东段矿体已剥露至地表并形成土褐黄色、褐红色铁帽，是最直接的找矿标志，可可塔勒矿床即是检查化探异常、追索评价铁帽而被发现的。该区铁帽以淋滤胶状、粉末状构造为主，局部发育蜂房状、条带状和块状交代构造。形态多为层、似层、透镜状，其规模一般长20～60 m，宽0.2～25 m不等。铁帽中仍残留有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物矿物。

铁帽中Pb，Zn，Ag，As，Sb，Tl，In，Ba，Si，Cd，Mo等元素富集，其中As，Sb，Ag，Tl，Bi的富集与方铅矿有关，Cd，In，Sb，Tl的富集与闪锌矿有关，而Ba的富集则与重晶石的存在相关。综合对比表明，成矿有利的铁帽元素组合及指标范围：Pb，Zn $n\cdot1\,000\times10^{-6}$，Ag 10×10^{-6}，As $n\cdot10\times10^{-6}$，Sb大于15×10^{-6}～$n\cdot10\times10^{-6}$，Tl大于10×10^{-6}，In≈3×10^{-6}，Cd $n\times10^{-6}$～10×10^{-6}，Ba $n\cdot1\,000\times10^{-6}$。

可可塔勒矿区氧化程度总体较弱，氧化深度不大，一般小于20 m。如ZK 3—0孔2.25～4.29 m为铁帽，4.29～12.52 m为氧化矿，12.52～14.15 m为混合矿，14.15 m以下即为原生矿。全矿区氧

黄金地质研究所
信息室 提供

化矿金属量约 4 万 t。与钻孔中相应矿体的铅、锌品位对比表明，当探槽中铁帽铅品位大于 0.7%、锌大于 0.15% 时，深部存在中至富铅-锌矿体的可能性较大。

2.2 矿体产状、品位和变化趋势

硫化物矿体呈似层状、透镜状，与地层产状基本一致（图 3），在下盘（NE 倒转翼）酸性火山岩中，发育交切的浸染状和不规则细脉状矿化（以 7～14 线发育较好），但不具工业价值。上部的层状矿体和下部交切细脉状—浸染状矿化共同构成了一个火山成因块状硫化物型矿床的典型矿化结构。层状矿体的走向一般为 310～340°，在 0 线以西倾向 NE；0 线以东地表矿体产状发生摆动，深部倾向变为 SW，这一转向趋势对深部找矿预测具有重要意义。

厚大矿体赋存于火山洼地中火山岩和沉积岩的

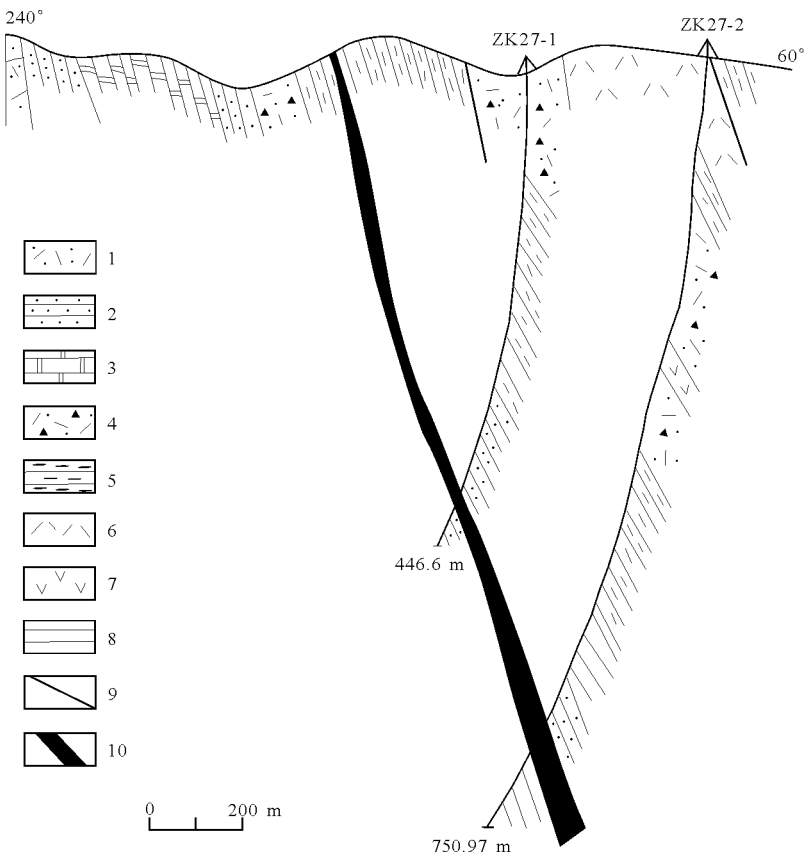


图 3 可可塔勒铅-锌矿床 27 号勘探线剖面图（据新疆有色 706 队，1995）

1—斑点状黑云凝灰岩；2—含榴黑云细砂岩、粉砂岩；3—大理岩；4—变角砾凝灰岩；5—黑云变粒岩；6—变酸性熔岩；7—斜长角闪岩；8—石英黑云母片岩；9—断层；10—矿体

增厚部位。矿区 19 线以西、12 线以东为单层矿，19～12 线间为多层矿。由于受后期（造山期）强烈的变形变质作用改造，原似层状矿体被变形作用切成几个相距很近、其间为高度片理化的矿化围岩所隔开的不规则透镜状矿体，但其构造包络面仍显示出原层状矿化特征（图 4）。

可可塔勒矿床以铅、锌为主，伴生硫、银、镉。矿体中铅品位 0.379%～4.95%，平均 1.51%；锌品位 0.4%～10.74%，平均 3.16%，铅＋锌平均 4.67%，总体属贫矿。其中富矿（铅＋锌≥8%）约占 30%。Pb∶Zn 在 1∶1～1∶5 之间，一般为 1∶2～1∶3。银最高品位 222×10^{-6}，一般≤40×10^{-6}，平均 19.7×10^{-6}，硫品位一般在 10% 左右。

按矿石品级可分为 3 种类型：1）贫矿石（铅＋锌＜4%），主要分布在西段 71 线以西及 11 号矿体浅部；2）中富矿石（铅＋锌 4%～8%）；3）富矿石（铅＋锌＞8%），主要分布在中东段（大平台）及 11 号矿体中深部。

主要矿体特征和铅、锌品位见表 2。

对照各勘探线钻孔见矿高程和品位发现，矿体向深部似有变厚、变富的趋势。如 11 号矿体，19，27，39，63 线铅＋锌含量最高，也正是这 4 条线见矿深度最大，T 33 线见矿高程为 1 165 m，铅＋

黄金地质研究所
信息室 提供

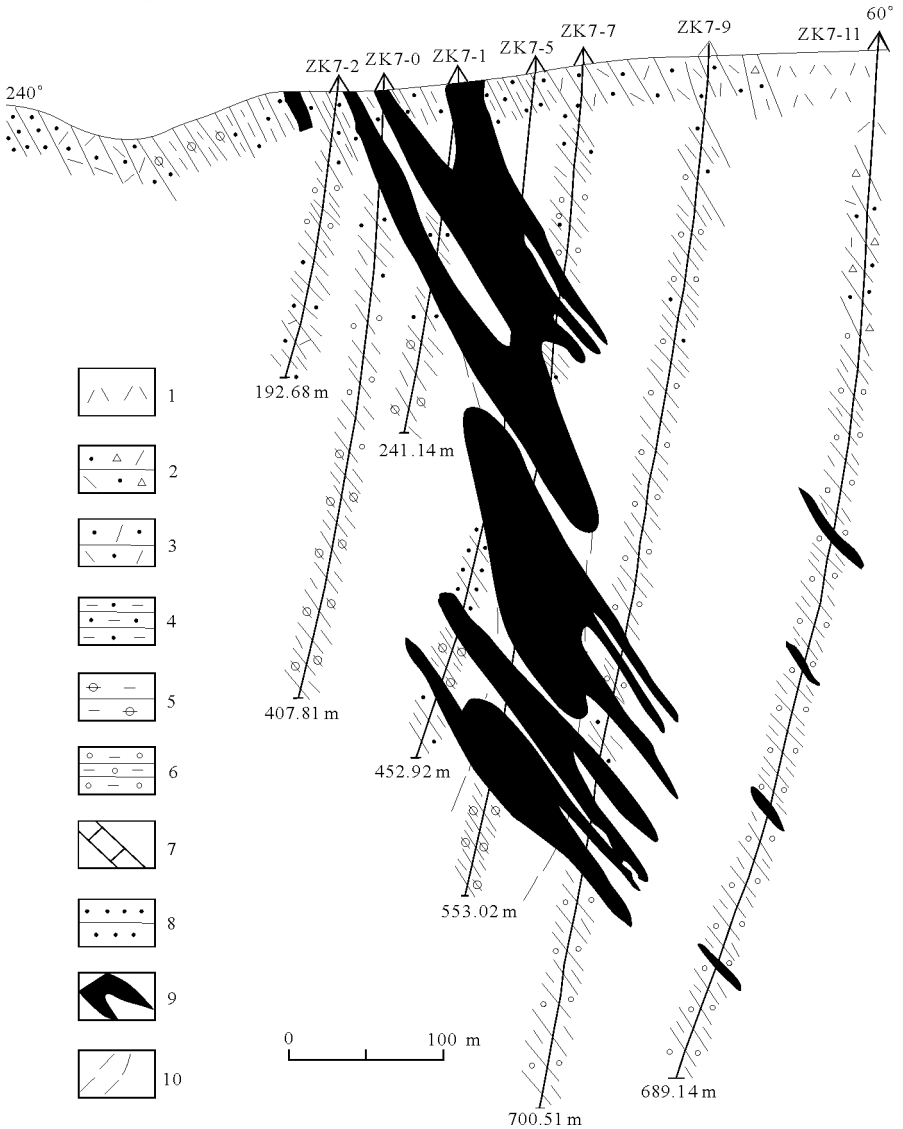


图 4　可可塔勒铅-锌矿床 7 号勘探线剖面图（据新疆有色 706 队，1995）

1—变酸性熔岩；2—变角砾凝灰岩；3—变凝灰岩；4—黑云石英片岩；5—绿帘石黑云石英片岩；6—浅粒岩；7—大理岩；8—变质砂岩；9—铅-锌矿体；10—推测原始矿体

表 2　可可塔勒矿床主要矿体特征和铅、锌品位

矿体编号	产状/°			规模/m			形 态	$w(B)_{平均}$/%		
	走向	倾向	倾角	长	延深	厚		铅	锌	铅＋锌
1	132	NE	50～77	600	200	8.08	似层状	1.35	1.60	2.95
2＋3	130～160	NE	61～71	700	520	31.28	不规则似层状	1.56	3.24	4.80
4	165	SW	61～80	800	500	12.63	分支复合脉状	1.37	1.08	2.45
4－2	160	SW	72～85	450	340	11.5	似层状	0.81	4.11	4.92
5	160	NE	71	130	430	7.71	透镜状	1.86	4.96	6.82
5－1	160	NE	71	100	370	9.05	透镜状	1.89	0.04	1.93
盲 2		NE	47	100	250	39.01	透镜状	2.07	1.94	4.01
11	133	NE	65～81	1 350	690	9.46	似层状	1.18	3.85	5.05
12	135	NE	70	1 700	600	3.61	似层状	1.10	1.19	2.29

锌小于 2%，T19 线见矿高程为 530 m，铅＋锌达 6.9%，即同一条矿体，深度增大 635 m，品位增加 2.5 倍。27 线施工 2 个孔，ZK27—1，在 400 m 以下见到真厚 9.97 m 矿体，铅为 1.48%，锌为 2.69%，合计 4.17%；ZK27—2 孔深 750.97 m，在 642～673 m 见到真厚为 19.72 m 的矿体，铅为 1.49%，锌为 3.82%，合计 5.31%，其中可圈出 7.75 m 真厚的富矿体，铅为 1.89%，锌为

黄金地质研究所
信息室 提供

8.64%，亦显示向深部矿体有显著变厚、变富的趋势，推测 ZK27—2 孔只打到富厚矿体的头部。相比之下，ZK47，ZK55 孔机台地形为高地，钻孔较浅，见矿不好，其西侧的 ZK63—1 孔见矿深度大，品位又变高（6.54%），这意味着 11 号矿体向西侧伏，深部成矿空间还远没有控制住。

从矿体延深及控制程度来看，矿区西段（85 线以西）控制矿体斜深≤360 m，均未控制住；63～19 线已控制矿体斜深约 750 m，矿体仍向下延伸；而 19～4 线间矿体斜深多在 400～700 m 间，部分矿体已被控制住。再向东到近主褶皱转折端部位，矿体转向并明显变薄变浅，锌含量显著大于铅，如 ZK20—1 孔深 450.37 m，在 263.2～266.6 m 间穿过矿体，而其后排孔 ZK20—2 孔深 548.33 m 却未能见矿，表明矿体已尖灭。推测愈向东矿体延深愈小。

综上所述，可可塔勒矿区东段（大平台）由于受花岗岩侵入的影响和近麦兹向斜扬起端，矿体剥露至地表（形成铁帽），延深变小，且以富锌（Zn/Pb≥3），品位较高为特点。而向西矿体逐渐侧伏，埋深变大，浅表矿薄而贫，以富铅（Zn/Pb＜3）贫锌为特点，但向深部明显变厚、变富，并可单独圈出富矿体，只有少数钻孔打到富矿体的头部，其赋矿空间远比目前根据浅表现象所估计的要大。

2.3 矿石组分

金属矿物组合较为简单，主要为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿，次为毒砂、黄铜矿、硫锑矿、黝铜矿、斑铜矿、白铁矿等，由于受后期变质作用的影响，矿石矿物粒度普遍较粗。非金属矿物主要有石英、微斜长石、斜长石、白云母、方解石、透辉石、铁铝榴石、黑云母、角闪石、绿帘石等，常见重晶石、萤石和电气石。

黄铜矿和方铅矿在下部交切状矿化中比层状矿化中更普遍，磁黄铁矿在南西段靠近侵入花岗岩体附近更发育，意味着部分磁黄铁矿可能是后期变质和岩浆侵入过程中形成的。一般情况下，萤石在形成于岛弧环境下的黑矿型块状硫化物矿床中罕见，但在可可塔勒矿床和可可塔勒矿带中的其他铅-锌矿床中却普遍发育，可能指示可可塔勒矿带中的铅-锌矿床是形成在陆壳环境中。

2.4 矿石结构、构造

2.4.1 *矿石结构* 中细粒自形—半自形（黄铁矿呈自形晶分布，磁黄铁矿、闪锌矿及方铅矿呈半自形晶分布于黄铁矿粒间）、他形—半自形（黄铁矿呈半自形晶，磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿呈他形晶，可见后者穿插前者）粒状、斑状（毒砂、黄铁矿呈大斑晶分布，黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿呈半自形晶构成基质部分）、反应边（斑铜矿、辉铜矿镶边包括黄铜矿）、共边（磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿具共同生长边）、交代溶蚀（黄铁矿被磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等交代）、填隙（细小的磁黄铁矿充填在黄铁矿晶体之间）结构等。

黄铁矿明显有 2 期：早期粗大，细中粒（0.2～1.5 cm），在主矿层中，颜色较暗，具有裂纹，多为半自形—他形晶，在品位较富处伴生有古铜色的磁黄铁矿；晚期细小（0.1～1 mm），多为单晶星散分布或分布于其他金属矿物间隙中，自形程度高，呈亮黄色，穿插铅、锌矿物，有时与方铅矿化相伴。磁黄铁矿有穿插黄铁矿、方铅矿有穿插黄铁矿之现象，方铅矿包裹闪锌矿。

2.4.2 *矿石构造* 以浸染状、斑杂状、块状构造为主，其次为条带状、条纹状、似条纹状，少数为角砾状构造等。

浸染状构造，硫化物呈星散状分布。当含量大于 10% 时称为稠密浸染状，小于 10% 时称为稀疏浸染状（贫矿或矿化）。浸染状矿石占优势是该矿的一个特点。

斑杂状构造，即不同色彩的硫化物和脉石矿物不均匀分布、局部富集。多呈 0.5～3 cm 的团块。从主矿段来看，斑杂状矿石铅、锌品位较高。

块状构造，黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿总含量大于 60%。以富含黄铁矿、磁黄铁矿为特征。该类矿石在本矿区所占比例较小，导致矿石品位不高。

条带状构造，金属矿物黄铁矿、方铅矿、闪锌矿（＜30%），与长英质矿物（深灰色、粉砂状）相间呈条带状分布（如 ZK3—0）。条带宽度从 2～5 mm 到 0.5～1 cm 不等。

角砾状构造，黄铁矿、磁黄铁矿沿矿石裂隙穿插或胶结脉石矿物碎屑。如 ZK3—5，黄铁矿含量约 50%，0.5～1.5 cm 大小，多呈不规则的角砾状。

网脉状构造，磁黄铁矿、方铅矿呈网脉状分布。由于后期构造挤压，网脉状构造有沿片理化方向强化的倾向。

脉状构造，含黄铁矿、方铅矿（或黄铜矿）的石英脉在矿下盘火山岩中产出。本身大多没有工业意义。

矿石的结构、构造表明，矿床既具有沉积作用

黄金地质研究所
信息室 提供

特征（如条带状、条纹状、变余层状构造），又具有热液作用特征（如交代溶蚀、共边结构，胶状、角砾状、网脉状构造等），属于典型的海底喷流沉积矿床。

2.5 矿石类型及分带性

按矿石构造可分为5种类型：块状、稠密浸染状、条带条纹状、稀疏浸染状和细脉一网脉状矿石，以前3种为主。

按金属矿物成分可分为4种类型，以前3种为主：

1）方铅矿-闪锌矿-黄铁矿-磁黄铁矿型（块状、浸染状、斑杂状、条带状矿石）；

2）方铅矿-闪锌矿-磁黄铁矿型（块状、浸染状、条带状矿石）；

3）方铅矿-闪锌矿-黄铁矿型（浸染状、条带状、块状矿石）；

4）方铅矿-黄铁矿型（浸染状、脉状矿石）。

在同一剖面上，各种类型矿石的分布呈现一定规律性，块状矿石多在矿体中下部，磁黄铁矿主要在矿体下部，向上磁黄铁矿减少、黄铁矿增多。原始层序下部，磁黄铁矿量大于黄铁矿，锌为主，局部含铜；到中部，黄铁矿与磁黄铁矿量相差不大，闪锌矿呈条带状分布，方铅矿量增加；再向上，闪锌矿减少而以方铅矿为主，同时磁黄铁矿变得极少，黄铁矿占优势。

从全矿区来看，从下至上，大致有（Cu）-Zn→Zn-Pb→Pb-Zn分带趋势。

3 围岩蚀变

可可塔勒矿区及附近围岩蚀变主要有下列类型：矿区外围钠化蚀变带、矿下层控白色（钾化）蚀变带、矿下层控绿色（绿泥石-黑云母化）蚀变带、蚀变岩筒和裂隙状蚀变带（图5）。

3.1 矿区外围钠化蚀变带

产于康布铁堡组上下亚组交界处断裂附近，主要分布于阿什勒萨依北（大型红化带）。主要由钠长石和石英组成，铁镁矿物很少，仅见少量黄铁矿或磁铁矿。这类钠化的火山岩以产于断裂附近、暗色矿物很少和轻稀土强烈亏损为特征，与康布铁堡组下亚组富钠流纹岩不同。

3.2 矿下层控（硅化）钾化带

主要分布于康布铁堡组上亚组铅-锌含矿层下盘火山岩中，从可可塔勒矿区经唐巴拉延至铁热克萨依，走向长达14 km，一般厚30～50 m，在铁

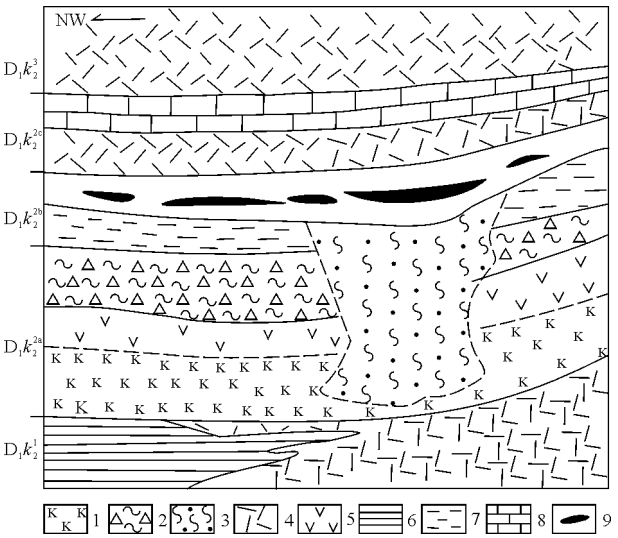


图5 可可塔勒矿区围岩蚀变分带示意图

1—钾化带；2—绿泥石-黑云母化带（角砾集块岩）；3—蚀变岩筒；4—角砾晶屑凝灰岩；5—酸性熔岩、角砾熔岩；6—片岩；7—条带状石英片岩（喷流岩）；8—大理岩；9—硫化物透镜体

热克萨依地区厚度大于300 m；野外观察表明，该蚀变带以其特有的白色为标志，主体由白色流纹岩和厚层晶屑凝灰岩组成，这是区别于其他不成矿或矿化较弱地段同一层火山岩系（呈灰色）的重要直观特征。白色流纹岩中黑云母缺乏（变为绢云母、白云母），暗色矿物甚少。粒状钾长石发育，白云母含量较高，与黑云母和斜长石的分解有关。石英含量增多并有石英细脉或网脉穿插。镜下为斑状或晶屑结构，斑晶或晶屑为石英和钾长石，钾长石表面可见大量的气液包裹体，钾化较弱的岩石，可见钾长石化后残留的钠长石斑晶，基质呈糖粒状，主要为石英、微斜长石和少量绢云母，有的薄片中还可见钾长石小细脉。

与麦兹盆地正常流纹岩相比（表3），其岩石化学成分中FeO增高，Fe_2O_3降低，显示当时溶液处于相对还原性质，SiO_2有所增加，而CaO，MgO，Na_2O等大大降低。即带入K_2O，SiO_2，带出Na_2O，CaO，MgO。沿剖面系统采样测试表明，该白色钾化蚀变带存在着明显的Pb，Zn，Ag，Cd，As，Fe，Mn亏损，其Pb含量多$\leqslant 8\times10^{-6}$，甚至$<3\times10^{-6}$，Zn在10×10^{-6}～20×10^{-6}之间，仅为背景值（Pb 40×10^{-6}，Zn 100×10^{-6}）的1/2～1/8。少数康布铁堡组上亚组（$D_1k_2^2$）晶屑凝灰岩、黑云石英片岩样品Pb，Zn值亦相当低。表明矿下钾化带为铅-锌等成矿元素淋滤带。

3.3 矿下层控绿色蚀变带

矿层下盘岩石在较长范围内普遍受到绿泥石、

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 可可塔勒矿区蚀变带岩石化学成分 w（B）/%

地质体	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	烧失量
硅化钾化带	74.24	0.07	12.01	0.06	2.09	0.14	<0.10	0.02	10.30	<0.10	0.03	0
	76.64	0.22	12.20	0.36	1.29	0.34	<0.10	0.03	10.67	<0.10	0.07	
绿泥石(黑云母)化带	72.77	0.10	13.76	0.95	1.77	0.48	3.26	0.04	1.31	4.05	0.04	1.58
	70.39	0.24	12.10	1.14	4.5	0.43	2.72	0.04	5.89	0.83	0.06	1.55
蚀变岩筒	70.10	0.31	14.41	0.28	2.86	1.36	2.93	0.06	0.18	6.33	0.08	0.82
	67.16	0.55	14.05	0.65	2.34	4.45	3.09	0.12	0.15	6.00	0.33	0.13
	72.92	0.19	10.05	0.47	4.78	1.48	4.49	0.13	0.49	3.57	0.06	0.81
	72.61	0.37	12.44	1.37	2.58	2.68	0.97	0.13	0.66	5.71	0.09	0.12
	71.93	0.20	12.99	0.68	2.27	1.05	1.13	0.06	6.78	2.01	0.08	0.32
	72.61	0.37	12.44	1.37	2.58	2.68	0.97	0.13	0.66	5.71	0.09	0.12
麦兹变流纹岩平均值(11 件)	73.98	0.27	14.52	0.84	1.12	0.60	0.50	0.06	3.12	4.59	0.07	0.20

阳起石、黑云母化蚀变。由于其分布基本限于角砾集块岩这一层，因而不可能是区域变质的产物。在东段（15～24 线），主要表现为片状绿泥石化和阳起石化、黑云母化，蚀变矿物占 30%～70%，向西到 15～27 线，这一层以黑云母化为主，绿泥石化次之，蚀变矿物占 25%～60%，主要是基质矿物遭受蚀变，角砾基本未变。31 线向西蚀变减弱。大致自 47 线以西这一层基本未蚀变，晶屑呈亮白色，有弱的白云母、绢云母化（<5%）。与外侧同层位及相邻层位未蚀变角砾凝灰岩相比较，发育绿色蚀变后，岩石 SiO_2，Al_2O_3 变化不大，但 TFe，CaO 降低，MgO 升高，发生黑云母化者 K_2O 升高，Na_2O 降低，而以绿泥石、阳起石化为主者 K_2O 降低，Na_2O 升高。稀土元素则表现为∑REE 大大降低（221.31×10^{-6}～128.97×10^{-6}），降幅达 42%，LREE/HREE 降低（1.9→1.6），δEu 升高（0.63→0.97），由铕亏损至无铕异常，δCe（0.90→0.84）变化较小。Pb 4×10^{-6}～10×10^{-6}，Zn（$<10\times10^{-6}$～34×10^{-6}），Fe，Ba，Sr 均表现为带出。顺层绿色蚀变基本沿矿区角砾集块岩这一层发育，宽 20～100 m，长 1 750 m，其对应上部层位恰为矿化富集地段。而区域其他层位或同层位其他不含矿的火山角砾集块岩则不具备这一特征的层控绿色蚀变。

层状绿色蚀变带位于（硅化）钾化带上，二者层位为上下关系，共同构成了矿化层下盘大型层控状蚀变带。

3.4 蚀变岩筒和裂隙状蚀变

蚀变岩筒表现为硅化-绿泥石化-绿帘石化蚀变，在探槽 Tc7 北东端及 Tc14B 中最为典型。蚀变岩筒的底部（北东侧）在 T24～31 线间，宽约 1 300 m，上部（南东侧，近矿部位）在 T0～23 线之间，宽 600 m，地表斜截面上长 780 m，大致呈菱形板状，地表面积约 0.5 km^2。主体为网脉状硅化、绿泥石化，中下部硅化强烈，下部核心圈为绿泥石、阳起石化（Fe，Mg 交代），向上绿帘石化增强。另据岩心观察，矿下层中绿泥石化、绿帘石化、硅化、碳酸盐化普遍，延深可达 500～700 m，据钻孔推断蚀变穿层厚度已达 300 m，局部见网脉及稀疏浸染状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿矿化（但不够品位）。物探队所作 V_4 电阻率最低地段在 ZK7—7 孔机台之北东段，8 线也大体相似，北东段矿下层 200 m 起至北东电阻率最低，可能也反映了这里（大平台北东段）是火山活动中心及蚀变岩筒存在部位（高渗透性地带）。蚀变岩筒向下交切了层控蚀变带，它代表了矿液补给通道。据蚀变岩筒分布特征，矿化中心应在 0～33 线。

裂隙状蚀变主要在 33 线以西较为明显，表现为基性岩脉—石英脉—似夕卡岩化—绿泥石化、绿帘石化—含粘土矿物浅绿色褪色带组成的线状复杂蚀变带。可能系沿断裂的热液排放所致。表明可可塔勒矿床成矿时的热液排放在 33 线以东，以筒状排放为主，向西逐渐演变到沿同生断裂的裂隙状排放。

相对于原火山岩，蚀变岩筒中网脉状蚀变岩 Fe_2O_3 下降，FeO，MnO 增高，普遍 $K_2O<Na_2O$，K_2O 多小于 0.66%，Na_2O 在 2.01%～6.33%之间，尤其在下部核心部位，CaO，MgO，Na_2O 急剧增加，CaO+MgO 可达 6.88%，Na_2O 为 3.52%～6.33%，向中上部 CaO，MgO，Na_2O 有所降低。

综上所述，4 种蚀变是对流循环过程中流体-岩石作用的产物（图 6），与成矿作用和流体温压条件的变化相关：1）矿区外围的钠化带为下降海水温度由低温升至中高温时，与岩石反应的产物；近矿的钾化带是成矿流体在运移或逸出时，温度由中高温降至中低温时形成；2）绿色蚀变带和蚀变岩筒则均为成矿流体喷出时由于压力的降低而形

黄金地质研究所
信息室 提供

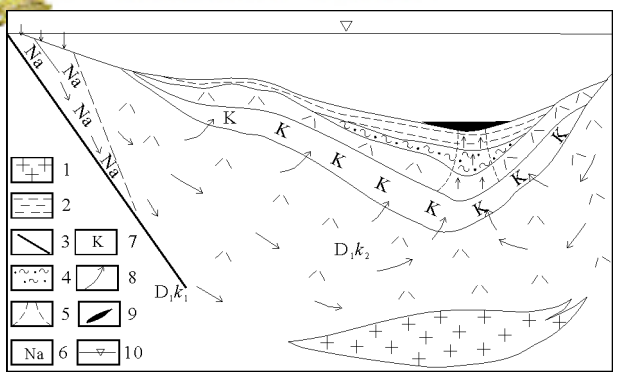


图 6　古热液成矿系统蚀变模式图

D_1k_1—康布铁堡组下亚组；D_1k_2—康布铁堡组上亚组火山-沉积岩；1—次火山岩；2—热水沉积岩；3—同生断裂；4—绿色蚀变带；5—蚀变岩筒；6—钠化带；7—钾化带；8—流体运移方向；9—块状硫化物矿体；10—海平面

成，前者压力降低较慢，后者较快。

4　矿床成因分析

1）可可塔勒矿区与成矿有关的火山岩主要为钙碱性流纹岩-英安岩组合，以流纹岩为主；成矿受火山喷发中心和沉积洼地控制，铅、锌矿化产于康布铁堡组上亚组第二岩性段（$D_1k_2^2$）两套火山岩层之间的沉积夹层中，其直接围岩为变质粉砂岩、凝灰岩和热水沉积岩（铁锰大理岩、微晶石英片岩、似夕卡岩等），矿区长度大于 6 000 m，厚度为 120～350 m 的含矿沉积岩层稳定的分布于上下火山岩之间，在近火山喷发中心部位夹有角砾晶屑凝灰岩透镜层，表明可可塔勒矿床与早泥盆世长英质火山活动有关，矿床形成于 2 次火山活动的间歇期，并在成矿过程中仍然有微弱的火山活动。

2）具有火山成因块状硫化物矿床的一般矿化结构特征：其主要工业矿体呈似层状、透镜状，与地层整合产出，在矿层下盘蚀变火山岩中发育了目前尚不具工业意义的交切不规则细脉—浸染状矿化，构成了上部为整合的层状矿化，下部为交切的细脉—浸染状矿化的典型二元矿化结构，后者代表矿液补给通道。

3）金属矿物以黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主，次为毒砂、黄铜矿等，铅＋锌品位平均为 4.67%，银多小于 40×10^{-6}，硫为 5%～25%，Pb/Zn 为 1∶2～1∶3，总体上品位偏低，但有富矿体或富矿段存在。

4）矿石构造以浸染状、斑杂状和块状为主，其次为条带状、条纹状，少数角砾状；富矿（块状、斑杂状矿）主要产在矿体中下部，贫矿（浸染矿及条带状矿）主要产在富矿体两侧或其延长部分，相当部分的贫矿独立产出是该矿的一个显著特点。

5）矿下存在大型层控钾化（硅化）带、绿色蚀变带和蚀变岩筒，加上矿区外围发育的钠化带，共同构成成矿流体对流循环过程中的水-岩作用带。系统剖面测量表明，Pb，Zn 高含量主要出现于含矿层中，而在矿床下盘的火山岩中大都贫化，仅为麦兹地区长英质火山岩平均值的 1/2～1/8，为 Pb，Zn 亏损区，Ag，As，Sb，Cd，Mn 等元素亦呈类似变化，表明下盘成矿元素发生了活化转移。

6）在后期造山挤压过程中，矿区发生了高绿片岩相—角闪岩相的变质-变形作用改造，使麦兹火山-沉积盆地转化为复式向斜，并使地层和矿体倒转，矿床最终定位于麦兹倒转向斜之东北倒转翼的近南东转折端部位。

综上所述，可可塔勒铅-锌矿床与典型的火山岩容矿块状硫化物矿床（如阿舍勒）相比，既有共性又有一定差异，其直接容矿围岩以沉积岩为主，与上下火山岩层之间有稳定的沉积间隔。可可塔勒铅-锌矿床应为介于典型的火山岩容矿的块状硫化物型矿床（VHMS）和典型的沉积岩容矿的块状硫化物矿床（SHMS 或 SEDEX）之间的过渡类型，其矿化特征与伊比利亚型（Iberian type，Saze，et al.，1999）矿床相似，从容矿围岩来划分属火山-沉积岩容矿的块状硫化物矿床，是海底火山喷流-沉积成矿的产物。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

梅仙式铅-锌矿床

梅仙式铅-锌矿床系指产于闽中裂谷带中新元古界“变质基底天窗”绿片岩系中的火山岩块状硫化物铅-锌（银）-多金属矿床，分布范围大，典型代表自北向南包括建阳水吉、政和夏山、建瓯八外洋、王地后、屏南泮地（黛溪）和尤溪梅仙（丁家山、峰岩、谢坑、关兜）等多个大、中型铅-锌-银矿床。该类矿床发现较早，1959 年就对建阳水吉矿开展普查找矿工作，但真正取得找矿重大突破的是近年继丁家山矿床之后又勘查发现了峰岩、八外洋大型矿床（吴建设等，2001；中国地质调查局，

黄金地质研究所
信息室 提供

2003），从而使该区成为我国又一重要的铅-锌成矿带，引人注目。到目前为止，已控制金属资源量：丁家山矿床 Pb＋Zn 大于 100 万 t，峰岩矿床 Pb＋Zn 164 万 t、Ag 1 436 t，八外洋矿床 Pb＋Zn 约 100 万 t，已探明水吉矿床 Pb＋Zn 达 60 万 t、Ag 300 多 t，主要矿床皆已进入全面开发阶段，显示出良好的找矿前景和巨大的经济价值。

1 区域成矿背景

该类矿床产在由政和—大埔和浦城—武平 2 条 NE 向深断裂所控制的闽中古裂谷构造环境中，大地构造位置处于闽西北隆起带、闽西南坳陷带和闽东火山断陷带 3 个一级构造单元交接叠置地带，属华南褶皱系的一部分。梅仙矿田即处在 NE 向政和—大埔深大断裂带中段东侧、寿宁—华安火山基底断隆带的中段。成矿带位置属太平洋西岸成矿带的一部分，是我国重要的钨、锡、金、铅、锌产区。

区内自新太古代至新生界地层均有出露，尤以元古宇最为广泛。零星出露的新太古界天井坪组为一套砂泥质沉积火山复理石建造，主要为黑云斜长变粒岩夹黑云片岩、斜长角闪岩，浦城丘源一带斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 2 678 Ma（傅树超等，1994）。古元古代麻源群为一套陆源碎屑沉积夹少量碳酸盐岩及中—基性火山岩的深变质（角闪岩相）岩系，其中南山组产有大金山铜-铅-锌-多金属矿床。中新元古界马面山群为一套绿片岩相—低角闪岩相的火山沉积岩系，其中的火山岩为双峰式的细碧-石英角斑岩建造，呈 NEE 向狭长带状展布或基底“天窗”出露，在其中的东岩组和龙北溪组的绿片岩及成分复杂的碳酸盐岩中普遍存在锌、铅、铜、银矿化，是梅仙式铅-锌-多金属矿床的重要矿源层，大岭组原岩夹有基性、酸性“双峰式”火山岩，为金的赋矿层位。晚古生代地层零星出露于裂谷带的南部，中新生界局限于零星散布呈带状分布的断陷盆地内。侵入岩主要为加里东期和燕山期花岗岩类，也明显地受断裂控制呈 NE，NNE 向展布。

矿床所处区域地质发展历史较为复杂，与南部的闽西南地区结合起来，可概括为以下几个主要演化过程。

1.1 （新太古代—古元古代）古陆核形成

在闽中及其以西地区发育有新太古代—古元古代地层，前者叫天井坪组，原岩为中酸性火山岩，后者为麻源群，系一套厚度巨大的深变质（角闪岩相）火山沉积建造，它们均呈古老基底构造窗形式局部出露，是古华夏地块的一部分。

1.2 （中—新元古代）大陆裂谷形成——加里东期碰撞闭合

以政和—大埔和浦城—武平 2 条 NE 向的深大断裂为界，陆壳因受 NW—SE 向张力作用于晋宁期开始拉伸，形成裂谷海，沉积了一套巨厚的复理石建造。随后 NW—SE 向张应力转化为挤应力，裂谷海于加里东期碰撞闭合、褶皱回返。这一大陆裂谷中填充的主要是中—新元古界马面山群（14～11 亿年），其中的火山岩具大陆拉斑玄武岩特征，代表着板内拉张的大陆裂谷环境，东岩组、龙北溪组绿片岩是本区重要的 Pb-Zn-Ag 含矿层。加里东期的碰撞作用导致广泛的区域变质和混合岩化，在边界断裂附近出现混杂岩带、大型推覆体、韧性剪切带和碰撞花岗岩等一系列地质现象。

1.3 华力西—印支期（D—T）陆内拗陷的形成，局部延续到早侏罗世

该拗陷即所谓的“永梅拗陷”，形成了石炭—二叠纪复理石建造，局部见少量火山岩，从而构成了大面积的陆缘海槽，其中在福建龙岩、永安等地的石炭纪地层中已发现大量 Pb-Zn，Mn 矿床及矿点。

1.4 中生代陆内—陆缘造山

受太平洋板块俯冲作用影响，陆块间、陆块内走滑剪切、伸展，地幔又一次上隆，形成大面积的大陆型高钾钙碱性火山岩及一系列剪切带与岩浆侵入活动，在古老基底之上形成了若干燕山期上叠式火山岩盆地。该期构造活动对先成矿体起热液叠加和改造作用。在一些地区见有脉状 Pb-Zn，Cu 矿化，该种矿化明显受断裂和裂隙控制，没有一定层位，但矿体旁常见石英斑岩等小岩脉或岩体，显示与岩浆活动有联系。

2 矿区地质

2.1 地 层

主要出露地层为由中新元古代变质岩和中生界陆相火山沉积岩构成的二元结构，前者以基底“天窗”形式出露，后者在矿区内围绕前者广泛分布，不整合或以断层覆盖在基底变质岩之上（图 1）。

2.1.1 *中新元古界* 主要为马面山群东岩组和龙北溪组，在不同矿区出露的情况也不一样。根据丁家山矿床含矿岩系研究，可将这里出露的龙北溪组地层分为 3 个岩性段，下段为薄层石英岩与白云质

黄金地质研究所
信息室 提供

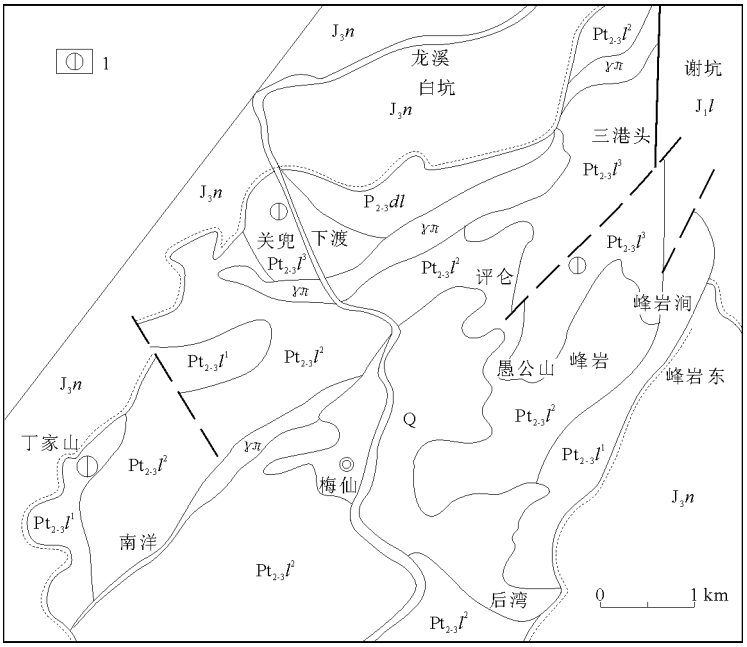


图 1　尤溪梅仙铅-锌-银矿田地质略图（据福建闽西地质大队，2001）

Q—第四系；J_3n—上侏罗统南园组；J_1l—下侏罗统梨山组；$Pt_{2-3}dl$—中新元古界大岭组；$Pt_{2-3}l^3$—中新元古界龙北溪组第三段；$Pt_{2-3}l^2$—中新元古界龙北溪组第二段；$Pt_{2-3}l^1$—中新元古界龙北溪组第一段；$\gamma\pi$—花岗斑岩；1—铅-锌矿床

大理岩互层，底部为黑云石英砾岩；中段为云母石英片岩夹薄层含磁铁矿石英岩、条带状石英岩及二云斜长变粒岩；上段为绿片岩类，主要包括绿泥绿帘石片岩、钠长绿帘石片岩、阳起绿帘片岩及绿泥石片岩等，厚度大于 370 m，其中上段绿片岩系是最重要的铅-锌含矿层。根据最新在峰岩矿区对东岩组的重新厘定，将其分为 6 个岩性段，其中第一、三、五为主要含矿层，统称为绿片岩段，岩性主要为绿帘石岩、绿帘透辉石岩、阳起片岩、绿泥片岩、钠长阳起绿泥石岩、大理岩夹钠长浅粒岩、钠（斜）长变粒岩；第二、四、六岩性段为无矿段，岩性以变粒岩为主。

王鹤年等（1998）、周丽娅等（2001）对区域和矿区该套岩系的岩石学、岩石化学、稀土和微量元素等进行过研究，并探讨了其形成的构造环境。总体上，绿片岩的岩石化学成分 SiO_2 为 43%～52%，Al_2O_3 10%～15%，Fe_2O_3＋FeO 5%～13%，MgO 4%～8%，CaO 9%～22%，Na_2O 0.1%～4%，K_2O 0.2%～3%，恢复原岩为基性火山岩（玄武岩类）；变粒岩的 SiO_2 为 76%～78%，Al_2O_3 9%～12%，Fe_2O_3＋FeO 2%～4%，MgO 0.4%～2.4%，CaO 0.1%～2.7%，Na_2O＋K_2O 3%～5%，原岩主要为酸性火山岩（流纹岩）、火山碎屑岩及正常碎屑沉积岩。综合起来看，该套岩石富大离子亲石元素、富 LREE、无或弱的负铕异常，构成了一套以基性、酸性“双峰式”火山岩为主夹细碎屑岩和碳酸盐岩的含矿建造，形成于大陆裂谷环境。此外，还有一些年代学数据，包括在尤溪梅仙和将乐盖竹洋地区分别获得的绿片岩 Sm-Nd 等时线年龄为（1 599±88）Ma（黄春鹏，1991）和（1 580±11）Ma（黄家龙，2001），张开毕等（2002）在建瓯东岩绿帘阳起片岩中获得锆石 U-Pb 上交点年龄为（1 339±81）Ma，在将乐绿帘二长变粒岩中获得单颗粒锆石 U-Pb 年龄为（1 019±26）Ma，在将乐万全变晶糜棱岩中测得 Ar-Ar 坪年龄为（932.8±1.0）Ma，指示该套岩系的时代为中新元古界。

2.1.2　中生界　以尤溪梅仙矿田为例（图 1），见有下侏罗统梨山组（J_1l）和上侏罗统南园组（J_3n），前者分布在矿田的北东部，为一套内陆盆地沉积岩系，岩性为灰白色中粗粒长石石英砂岩、石英砂砾岩夹细砂岩、粉砂岩及泥质岩，泥质岩中含较多的植物化石；后者大面积出露于矿田的 NW 和 SE 部，为一套陆相沉积中酸性火山喷发岩系，岩性由流纹质晶屑凝灰岩、凝灰熔岩、熔结凝灰岩、流纹岩及凝灰质砂砾岩、砂泥岩组成，岩石普遍黄铁矿化，局部具铅-锌矿化且富集成矿，但品位低利用价值不大。它们与中新元古界东岩组、龙北溪组呈断层或不整合接触。

2.2　构　造

矿区褶皱和断裂十分发育，在梅仙矿田，褶皱由 2 对宽缓的背向斜组成，自西向东依次为谢家山

黄金地质研究所
信息室 提供

背斜、铜坑向斜、梅仙背斜和梅仙向斜，褶皱轴向20～40°，核部是最有利的容矿部位，不仅产出的矿体厚而且品位也增高。断裂主要有NE，近EW和近SN向3组，产状较陡，NE和近SN向断裂为成矿后断裂，破坏矿体，近EW向断裂中可见晚期脉状铅-锌矿体充填。在建瓯八外洋矿区，表现为二级同斜背斜，核部为东岩组，两翼由龙北溪组上下段地层构成，背斜轴面倾向W，倾角大于40°。断裂以NE向为主，NW向次之，NE向断裂主要有3条，其中F_1规模最大，贯穿矿区，长大于7 km，宽2～20 m，为压扭性质，切错含矿层位。

2.3 侵入岩

不甚发育，在梅仙矿田主要见有燕山晚期石英斑岩、花岗斑岩沿NE向断裂带呈脉状和岩墙状产出，其中根竹园—关兜的花岗斑岩脉，长约6 km，宽0.1～0.5 km，坪寨—南洋的石英斑岩脉长约6 km，宽0.05～0.3 km。在建阳水吉矿区，沿F_1断裂破碎带产有大量闪长岩脉，长在1.2 km以上，宽4～20 m，该岩浆活动对矿化起叠加和改造作用。

3 矿床地质特征

3.1 矿体形态、产状及规模

矿体均产于中新元古代绿片岩中，呈层状、似层状、透镜状，基本顺层分布（图2）。但是不同矿床的矿体产状不一，即使是同一矿床，矿体的产状变化也较大，如在峰岩矿床的愚公山矿段，6个矿体的走向变化于NE—NNW，倾向NW—SWW，倾角10～35°。一般矿层多且稳定，矿体规模大、延伸长、矿石品位较高。在丁家山铅-锌

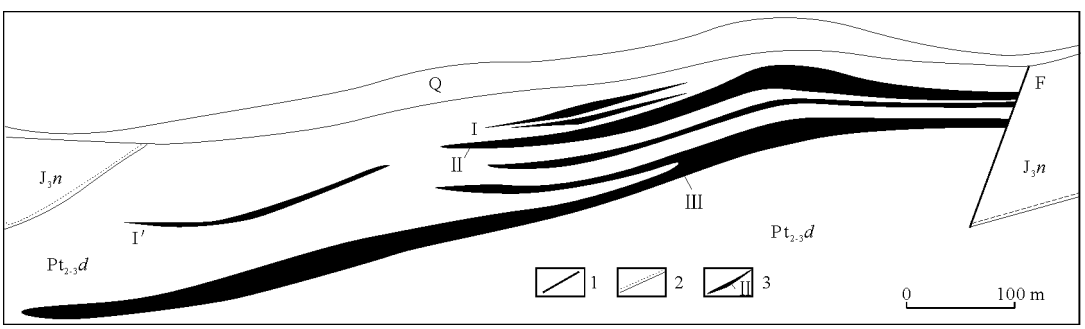


图2 梅仙式铅-锌矿床典型剖面图（据甘肃省地矿局地质科学研究所，1994）

Q—第四系；J_3n—上侏罗统南园组火山岩；$Pt_{2-3}d$—中新元古界东岩组；1—断层；2—不整合线；3—矿体及编号

矿床，主矿体长450～1 800 m，延深210～420 m，平均厚度1.29～6.92 m，最大25.77 m，Pb，Zn，Ag平均品位分别为0.96%，4.21%和40.88×10^{-6}，富矿品位Pb+Zn可大于20%。建阳水吉风山林矿段探明的30多个铅-锌（银）矿体长300～930 m，最大延深230～603 m，平均厚度1.71～5.35 m，平均含Pb，Zn，Ag分别为2.08%，1.49%和49.4×10^{-6}。又如新近发现的建瓯八外洋铅-锌矿床，单个矿体长100～650 m，延深最大280 m，厚度1～19.95 m，Pb，Zn平均品位分别为0.5%～7.01%和0.60%～25.76%，单样最高品位分别为8.72%和25.76%。

3.2 矿石类型、物质组成及结构、构造

该类矿床的矿石自然类型可分为氧化矿石和硫化矿石两大类，前者分布在潜水面以上，一般规模小、品位较低；后者主要分布在潜水面以下，为最重要的工业矿石。硫化矿石按照金属矿物的共生组合又可分为铅矿石、锌矿石、铅-锌矿石和铅-锌-银矿石，它们在不同矿床中的分布和含量多少略有不同。按照矿石构造还可分为条带状、浸染状、浸染-斑杂状、斑杂状、次块-块状矿石等。

主要金属矿物有磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铁矿，含少量黄铜矿、磁铁矿、黝铜矿、赤铁矿、褐铁矿及银矿物等，银矿物仅在建阳水吉铅-锌矿床中大量鉴别出，包括脆银矿、深红银矿、硫锑铜银矿、银黝铜矿、硫银锗矿-黑硫银锡矿等（苏友庆，1992）；非金属矿物主要为透辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石，次为石英、长石、碳酸盐矿物（方解石、白云石）、磷灰石、石榴子石、萤石等。上述金属矿物大多分布在透辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石粒间，而热液矿物石英、方解石等常分布在金属矿物的晶粒间。

矿石组构较复杂，在一定程度上，矿石的组构类型包含着矿石的成因信息。主要矿石结构为半自

黄金地质研究所
信息室 提供

形—他形微细粒，其次有交代、交代包裹、固溶体分离乳浊、包含等。矿石构造主要有条带状（层纹状）、斑点—斑杂状、次块状—块状、稀疏和稠密浸染状、细脉浸染状等。

叶水泉等（1999）通过对丁家山铅-锌矿床赋矿主岩绿片岩的矿物组成研究后发现，组成矿物呈现规律性分带，自下而上可分为3个带，即绿帘阳起片岩带、绿帘透辉片岩带和绿帘片岩带。矿床中铅-锌矿物也具有明显的垂直分带性（陈小华，2000），以丁家山为例，深部矿体矿石中闪锌矿含量明显多于方铅矿，金属矿物以磁黄铁矿、闪锌矿为主，其次含少量黄铁矿、黄铜矿、方铅矿，矿石中Pb/Zn值远小于1，如丁家山铅-锌矿床ZK6钻孔中99.6～129.5 m间铅-锌矿石的Pb/Zn值为0.005～0.014。矿床上部矿体方铅矿含量相对增加，金属矿物以闪锌矿、磁铁矿和方铅矿为主，含少量黄铁矿、磁黄铁矿，而矿石中Pb/Zn值明显增大，如ZK6钻孔中61.0～91.3 m之间的铅-锌矿石Pb/Zn值增加到0.024～0.45。

3.3 成矿期次

根据矿床产出特征，矿体、矿石矿物组成、结构、构造以及同位素示踪，并参照其他学者的综合研究成果，将该类铅-锌矿床的成矿作用分为3期，即火山喷发沉积成矿期（中新元古代）、变质热液改造期（加里东期）和岩浆热液叠加改造期（燕山晚期）。

3.3.1 *火山喷发沉积成矿期* 是该类矿床最重要的成矿期，形成了分布于赋矿主岩绿片岩中的层状、似层状和透镜状矿体。中新元古代因陆壳不断拉张，发生海底基性—酸性火山喷发作用，在此过程中，铜、铅、锌等金属成矿物质伴随着喷发物不断地聚集和沉淀，形成矿源层和矿胚，之后，随着火山喷发作用的增强和发展，含矿热液对流循环，矿质淀积，初始矿层和矿胚不断发育，从而形成具一定规模顺层产出的铅-锌矿体。在闽中裂谷带内几个典型梅仙式铅-锌矿床中，皆可见到矿体呈层状、似层状，与围岩产状基本一致，矿石具有特征的条带状、层纹状构造，特征金属矿物磁黄铁矿、闪锌矿显示为同生沉积成因（周兵等，1999）。矿石硫化物硫同位素值接近于陨石硫，变化范围小，塔式分布效应显著，显示其为与火山喷发作用有关的深部来源。水吉铅-锌矿床中似层状矿体铅同位素组成变化小，均为正常铅，单阶段模式年龄介于814～946 Ma，大致代表该期成矿年龄。

3.3.2 *变质热液改造期* 是另一重要成矿期。随着张应力向挤应力转化，裂谷海于加里东期碰撞闭合、褶皱回返，遭受区域变质作用，促使先期形成的矿质再淋滤和活化，并不断接纳新的矿质，然后因受物理化学条件的变化在有利构造空间发生矿质巨量堆积，使先成矿体变大变富。断裂破碎带型矿化的出现，褶皱在不同矿床中大量发育以及其中产出的厚大矿体、块状矿石、变晶结构、斑点—斑杂状构造等均为该期作用的产物。

3.3.3 *岩浆热液叠加改造期* 燕山期的岩浆活动形成石英斑岩、花岗斑岩、闪长岩等小岩脉或岩体，它们对先成矿体起热液叠加和改造作用。在一些地区沿断裂和裂隙充填脉状Pb，Zn，Cu矿化，没有一定层位，为该期矿化的典型代表。比如在谢坑矿床的燕山期花岗斑岩脉附近的层状铅-锌矿体中就叠加有夕卡岩化和相关的铜矿化。

3.4 围岩蚀变

该类矿床围岩蚀变普遍，但强度较弱，蚀变的分带性不甚明显。蚀变类型包括绿帘石化、透辉石化、阳起石化、绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等，其中以碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化分布最广，绿帘石化、硅化和碳酸盐化与铅-锌成矿关系最密切。

4 矿床地球化学特征

闽中地区梅仙式代表性铅-锌（银）矿床中，除建瓯八外洋矿床因新近发现尚未有地球化学数据外，其他大中型矿床如尤溪丁家山、峰岩、谢坑和建阳水吉都积累了一些矿床地球化学数据，主要是硫、铅及少量的氢、氧同位素数据。硫、铅同位素样品主要为从不同类型矿石中分离出来的金属硫化物单矿物，包括磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿及少量黄铜矿。

4.1 硫同位素

共有71个硫同位素数据，$\delta^{34}S$介于－3.3‰～5.8‰之间，绝大部分为正值，以略微富集^{34}S为特征。其中丁家山矿床（含个别谢坑、根竹园样品）28件样品的$\delta^{34}S$为－3.3‰～4.2‰，平均1.8‰（叶水泉等，1999），不同硫化物之间的硫同位素组成稍有不同，$\delta^{34}S$值从大到小为闪锌矿（平均值为2.6‰）、磁黄铁矿（2.4‰）、黄铁矿（1.6‰）、黄铜矿（1.1‰）、方铅矿（－0.4‰）；峰岩矿床14件样品的$\delta^{34}S$为0.4‰～3.8‰，平均为1.56‰（吴淦国等，2003），其中3件闪锌矿、4件磁黄铁矿、4件方铅矿和3件黄铁矿的$\delta^{34}S$均值分别为

黄金地质研究所
信息室 提供

2.97‰，1.45‰，1.13‰和 0.87‰；水吉矿床 29 件样品的 $\delta^{34}S$ 为 1.9‰～5.8‰，平均为 4.15‰（苏友庆，1992），4 件黄铁矿、13 件闪锌矿和 12 件方铅矿的 $\delta^{34}S$ 均值分别为 5.35‰，4.87‰和 2.97‰。总体来看，各矿床硫同位素组成变化范围较小，为接近于 0 的不大数值，塔式分布效应显著，反映大部分为与裂谷火山作用有关的深源硫特征。

4.2 铅同位素

从收集到的 41 个铅同位素数据可知，各矿床铅同位素组成相对稳定，变化范围小。丁家山矿床的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为 18.112～18.605，平均 18.34，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为 15.517～15.932，平均 15.67，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为 38.331～39.666，平均 38.74；峰岩矿床的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为 18.38～18.573，平均 18.44，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为 15.773～15.992，平均 15.81，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为 38.879～39.655，平均 39.06；水吉矿床的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为 17.243～17.398，平均 17.31，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为 15.237～15.380，平均 15.33，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为 37.413～37.867，平均 37.22。在 Zartman 等的构造图解中，投点从地幔、造山带到上地壳均有分布，反映在正常铅同位组成中有放射性成因铅的混入。

4.3 流体包裹体及氢、氧同位素

由于流体包裹体不发育及石英矿物含量很少，因此获得的这方面的资料很有限、很薄弱。据周兵等（1999）研究，矿石石英中包裹体以气液包裹体为主，且气液比比较恒定，包裹体大小约 10 μm，呈负晶形，圆球状或不规则状。叶水泉等（1999）测得丁家山矿床 2 件矿石中石英的 $\delta^{18}O$ 平均为 1.56‰，计算得出的与石英平衡水的 $\delta^{18}O$ 为 0.55‰，此与海水的 $\delta^{18}O$ 值（－0.5‰～0.3‰）很接近，反映成矿热液主要为海水，可能混有少量雨水或岩浆水。此外，还获得了一组温度数据，曾强生（1997）测得矿石矿物爆裂温度为 290～370 ℃，闪锌矿和方铅矿矿物对硫同位素平衡温度为 234～360 ℃，周兵等（1999）测得矿石流体包裹体的均一温度为 184～350 ℃，说明成矿温度介于 184～370 ℃之间。黄树峰（1990）在建阳水吉测得绿片岩中石英流体包裹体均一温度为 290～347 ℃，周兵获得绿片岩中石英与透辉石的平衡温度为 309 ℃，因此，290～347 ℃代表了绿片岩相的变质温度。另外，黄树峰（1990）用淬火法在水吉铅-锌矿床测得石榴子石内的原生熔融包裹体温度为 700～750 ℃，经压力校正为 500 ℃，其代表后期岩浆热液接触变质作用的温度，上述不同温度反映了成矿过程及多种地质事件的叠加改造。

5 矿床成因模式

综上所述，梅仙式铅-锌矿床应为海底火山喷发沉积—变质热液改造型块状硫化物矿床。其形成过程大致为中—新元古代，在拉张的裂谷环境中发生海底基性—酸性火山喷发作用，形成细碧-角斑岩建造和含铅、锌、铜、银等的矿源层，此后，随着火山喷发作用的多次增强和发展，含矿热液对流循环，矿质淀积，促使初始矿层和矿胚不断发育，品位变富，规模扩大，从而形成顺层产出的层状铅-锌矿体。加里东期，裂谷碰撞闭合、褶皱隆起，遭受区域变质作用，促使矿质再淋滤和活化，不断接纳新的矿质，并在相应的物理化学条件和构造空间中形成新的矿物相和矿物组合，导致部分矿质聚集、叠加、富集或造就新的矿层。燕山晚期，岩浆侵入及热液活动的叠加即可使先成矿体变厚、变富，也可造成原矿缺失、贫化或异地迁移成矿。

6 控矿条件及主要找矿标志

1）构造背景裂谷带内中生代火山岩分布区内的中新元古界基底“构造窗”。

2）含矿岩系，矿（化）体严格受一定的地层层位控制，为中新元古界东岩组和龙北溪组绿片岩，其原岩为基性、中酸性“双峰式”火山岩或细碧角斑岩建造。顺层产出的矿体呈层状、似层状和透镜状，厚度稳定，走向延伸大。

3）控矿和容矿构造，背斜核部的扩容带往往形成厚大矿体。

4）地球物理，航磁为低缓带状正磁场带，地磁表现为规整的带状异常，磁异常与磁黄铁矿矿（化）层和磁铁矿化有关。

5）地球化学，水系沉积物和土壤化探异常元素组合为 Cu-Pb-Zn-Ag，异常呈带状分布，面积大、浓度高、分带性好。元素地球化学也具有分带性，内、中、外带元素组合分别为 Ag-Pb-Zn（Co），Ni-Cr-V 和 Sr-Ba。

6）老硐分布区，古采硐遗迹。

7）硫化物在地表氧化所形成的铁-锰帽。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

黄金地质研究所
信息室 提供

云南老厂铅-锌-银-多金属矿床

老厂铅-锌-银-多金属矿位于云南省澜沧县北侧。大地构造位置处于特提斯构造域西南“三江”造山带的南部。

据历史记载，老厂矿床早在1404年就开始开采银，古人开采的矿石全部来自中上石炭统灰岩中。清朝鼎盛时期年采炼白银30万两以上，留下的含大量铅的矿渣。新中国成立后，开始对历史上废弃的矿渣进行回收铅。20世纪50年代发现了早石炭世火山岩中的铅-锌-多金属矿体，80年代在火山岩的下部发现与后期隐伏花岗质岩体有关的铜矿体。90年代开始对火山岩中的原生铅-锌-银矿石进行开采。

1 区域成矿背景

老厂铅-锌-银-多金属矿床产于走向近SN的古特提斯昌宁—孟连早古生带大陆边缘裂谷带（叶庆同等，1991，1992；杨开辉等，1992）之澜沧裂谷北段。基底为以澜沧群和西盟群为代表的变质岩系。缺失早古生代地层。其东侧为临沧隆起，分布有澜沧群变质火山沉积岩系，西侧为西盟群变质岩系。

昌宁—孟连裂谷可能是在冈瓦纳大陆北部边缘发展起来的（叶庆同等，1992；刘友梅等，2001）。该裂谷形成于早泥盆世。泥盆系—下石炭统下部为碎屑岩夹多层笔石页岩，顶部夹放射虫硅质条带。下石炭统上部为一套基性和中基性火山岩，夹硅质岩和碳酸岩扁豆体。火山岩以玄武岩（包括碱性和拉斑玄武岩）和玄武质—安山质火山碎屑岩为主。火山岩从基性岩浆溢流开始，到中基性、中性喷发结束，呈现多阶段特点，反映了半深海环境。中上石炭统—下二叠统为碳酸盐岩建造，总厚度上千米。

印支运动使区域隆起，东侧形成了巨大的临沧—勐海花岗岩基，相关地层发生褶皱和断裂。印支—燕山期花岗岩浆活动，包括断陷盆地中的次火山岩体侵入，对矿床的形成产生重要影响，伴有花岗岩类侵入和铜-锡-金矿化。

裂谷中的石炭纪火山岩和石炭—二叠纪碳酸盐岩富Ag，Pb，Zn，为区域银、铅、锌、金多金属的主要赋矿层位。

2 矿区地质特征

2.1 地 层

老厂矿区内出露的地层为石炭—二叠系，其间基本连续沉积。中上石炭统—二叠系自上而下分为5个岩性段，厚度545～680 m：5）灰—灰黑色薄层状沥青质灰岩；4）灰色鲕状灰岩；3）灰—灰黑色块状灰岩；2）灰—深灰色珊瑚礁灰岩；1）上部为灰—灰白色灰岩夹浅褐色泥质条带灰岩，中部为粗粒白云岩，下部含硅质岩条带，底部为泥灰岩。从化学成分来看，第一、二层碳酸盐岩富含SiO_2，Al_2O_3，Fe_2O_3，FeO，MgO等杂质成分。

下石炭统（依柳组C_1y）由上而下分为8个岩性段，总厚度大于240～690 m：8）灰绿色蚀变角砾凝灰岩（原岩为玄武质凝灰角砾岩和角砾凝灰岩）夹沉凝灰岩、页岩、粉砂岩、砂岩和灰岩；7）灰—灰绿色碱性玄武岩、粗面玄武岩和拉斑玄武岩，近喷发中心相变为玄武质角砾岩和火山集块岩，6）+5）玄武安山质和安山质含角砾凝灰岩和凝灰岩夹沉凝灰岩、页岩、砂岩和灰岩；4）安山质凝灰角砾岩和岩屑凝灰岩、粉砂岩等互层；3）肉红—浅灰黄色气孔状、杏仁状玄武安山岩和安山岩，近喷发中心相变为角砾集块岩；2）黑色块状碱性玄武岩，中部夹肉红色粗面安山岩；1）蚀变安山质角砾凝灰岩。总之，早石炭世火山-沉积作用呈多旋回式特点。

矿区各时代地层中，Pb，Zn，Ag含量高，富集系数为1.7～39.4，其中C_1y含量最高；As，Bi，Sn趋向富集，Mo，W，Be，B趋于贫化；Pb，Zn与As，Ag紧密共生，Cu与W，Sn，Mo关系密切（彭省临等，1997）。

2.2 岩浆岩

矿区内岩浆岩以早石炭世火山岩为主。地表有辉绿岩和辉石云煌岩脉。燕山期—喜马拉雅期的岩体为隐伏状，花岗斑岩和橄榄玄武玢岩脉（Rb-Sr年龄133 Ma）侵入于矿区深部火山碎屑岩中（陈百友等，2000）。

早石炭世火山喷发活动沿近SN向断裂展布，呈裂隙—中心式喷发，火山口的位置随着区域的拉张作用由东向西迁移，在雄狮山顶以南可鉴别出3个火山口，它们分别被玄武岩和玄武安山岩充填。

黄金地质研究所
信息室 提供

火山岩由喷发相、管道相和火山沉积相等组成，其中，喷发相又可分为爆发相和溢流相。火山管道相目前仅揭示了晚旋回的侵入玄武岩。火山沉积岩相包括沉凝灰岩、沉凝灰角砾岩、沉角砾凝灰岩、粉砂岩、砂岩、页岩和灰岩。矿床的形成与破火山口有关，近火山口的爆发相和火山沉积相是成矿的有利部位。

根据火山岩层序、岩性、岩相组合，可将矿区内早石炭世火山活动划分为 4 个旋回：第一岩性段构成了第一中性火山旋回，第二岩性段相当第二基性火山旋回，第三至六岩性段组成了矿区内最大的火山旋回——第三旋回，以安山岩浆喷发为主，矿区内似层状含铜黄铁矿形成于第三旋回的末期；第七八岩性段组成了第四基性火山旋回。早石炭世的火山活动，从早到晚经历了 2 次由中性、中基性到基性的演化过程。

矿区内的火山岩以火山碎屑岩为主，其厚度约占火山岩总厚度的 70%，其次为熔岩。火山碎屑岩有安山质和玄武安山质凝灰岩、角砾岩和集块岩以及它们之间的过渡类型火山碎屑岩。熔岩主要为玄武岩和安山岩。玄武岩中，局部夹辉橄岩、苦橄岩等超基性岩墙。玄武岩类多属碱性系列，钠质亚系列，安山岩类多属钙碱性系列。

玄武岩系列常量、微量元素含量特点表明，矿区的玄武岩为板内玄武岩区，反映了它们形成于裂谷环境特点。火山岩的稀土元素含量为 109.1×10^{-6}～398.9×10^{-6}，$\sum Ce/\sum Y$ 值为 1.0～2.0，球粒陨石标准化曲线呈略向右倾斜的轻稀土富集型，δEu 为 0.98～1.02，几乎无铕异常。

2.3 构 造

石炭—二叠系组成了一系列的短轴平缓褶皱，其轴向 325°左右，中上石炭统—二叠系碳酸盐岩常构成向斜鞍部，下石炭统火山杂岩构成背斜核部。矿区断裂发育。走向 NNW、长 5 km 以上、倾向 E，倾角 75～80°的老厂断裂纵贯全区，控制了矿区内火山喷发活动和矿体分布。NE 向白虎岩断裂切割了老厂断裂，使后者扭曲呈 S 型展布，白虎岩断裂的西北部地层上升，而东南部地层下降。矿区火山岩内部、火山岩与上覆灰岩之间发育滑脱构造（陈松岭等，1997），控制了区内晚期的叠加改造成矿作用和矿床的再就位。此外，矿区内还发育了一系列 SN，NE 和 NW 向断裂。区内地层被断裂切割成格子状的断块，有的隆起，有的下降，使矿区构造复杂化。

3 矿床地质特征

老厂 VMS 铅-锌-银矿床赋存于下石炭统依柳组（C_1y）钙碱性火山碎屑岩系和中上石炭统碳酸盐岩中。历史遗留由灰岩型矿石提银后的富铅炉渣，其铅金属含量加上中上石炭统灰岩型矿石已探明的铅金属量，相当火山岩型矿石已探明储量（铅金属量）的 2.5 倍（薛步高，1998），历史上累计采出的银金属量也相当可观。说明灰岩型矿体也是铅-锌-银矿床的主体。矿床中的铅＋锌和银都达到大型。

3.1 矿体形态、产状

老厂铅-锌-银-多金属矿床含矿层位多，主要由产于中上石炭统灰岩中的一系列矿体和产于下石炭统火山岩及其与上部灰岩的滑脱带中的矿体 2 部分组成。下二叠统灰岩中也有局部矿化。

产于灰岩中的矿体主要位于灰岩的中下部不纯灰岩，为铅-银矿体，锌含量较少。矿体为呈不规则扁豆状、脉状、柱状或似层状。单个矿体规模较小，其长一般几米至几十米，厚几米至十余米，主要为土状氧化矿，少量硫化矿。

产于火山岩中的矿体呈层—似层状，与第二旋回晚期的粗面安山质凝灰岩相伴，为Ⅰ号矿群，其中 $Ⅰ_{1+2}$ 矿体最大，长 875 m，宽 50～258 m，厚 2.5～22.6 m；产于第三火山岩旋回粗面质和粗面玄武质凝灰岩顶部和其上覆层间滑脱带的矿体，形态复杂，剖面上呈羽状。有似层状，陡脉状、“厂”字状、“人”字状、透镜状等。陡脉状矿体与缓倾斜矿脉常常贯通。矿体长一般 100 m 以上，最大达 750 m，厚 7～50 m（图 1，2）。

火山岩和其上覆层间滑脱带中，矿化具明显的水平和垂直分带性。黄铁矿分布广泛。但一般上部为铅-锌-银矿化，下部为少或不含铅-锌-银矿物的黄铁矿-黄铜矿化。而雌黄-雄黄矿化比铅-锌-银矿化范围宽。自上而下呈 As（Au）→Ag→Pb＋Zn→Cu 分带性。

3.2 围岩蚀变

老厂矿床近矿围岩蚀变具多期分带现象，这种分带属火山喷流成矿作用和后期斑岩热液成矿作用相互叠加的结果。矿化火山岩普遍具有绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化。而矿化灰岩普遍具有硅化和铁锰碳酸盐化。与燕山期隐伏岩体热液有关的蚀变为类夕卡岩化、青磐岩化（叶庆同等，1992）。

灰岩中的矿体近矿蚀变相对简单，从矿体向外为硅化、铁锰碳酸盐化。

黄金地质研究所
信息室 提供

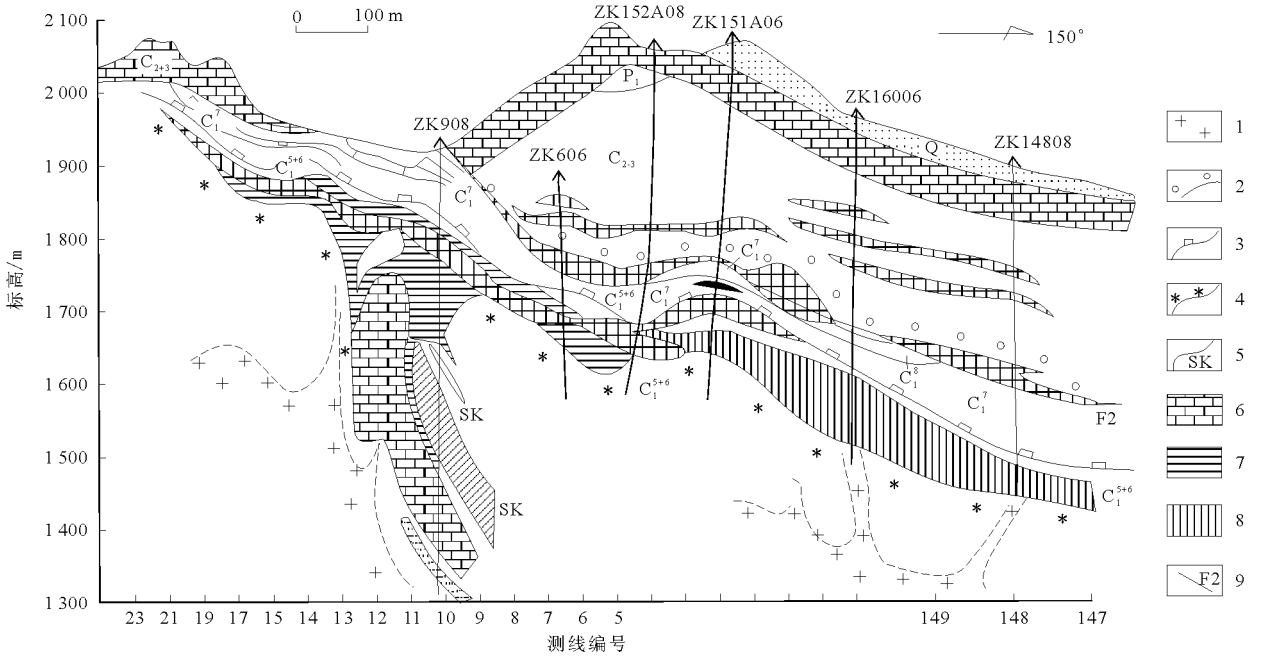


图 1　云南老厂银-铅-铜矿床纵剖面图（引自李光斗等，1998）

Q—第四系堆积层；P_1—下二叠统灰岩；C_{2+3}—中上石炭统白云质灰岩；C_1^8—下石炭统沉火山碎屑岩；C_1^7—下石炭统玄武岩；C_1^{5+6}—下石炭 统安山凝灰岩；1—花岗斑岩脉及花岗岩；2—铁锰碳酸盐化；3—青磐岩化；4—黄铁绢英岩化；5—夕卡岩化；6—银-铅-锌矿体；7—硫矿体；8—铜矿体；9—断层及编号

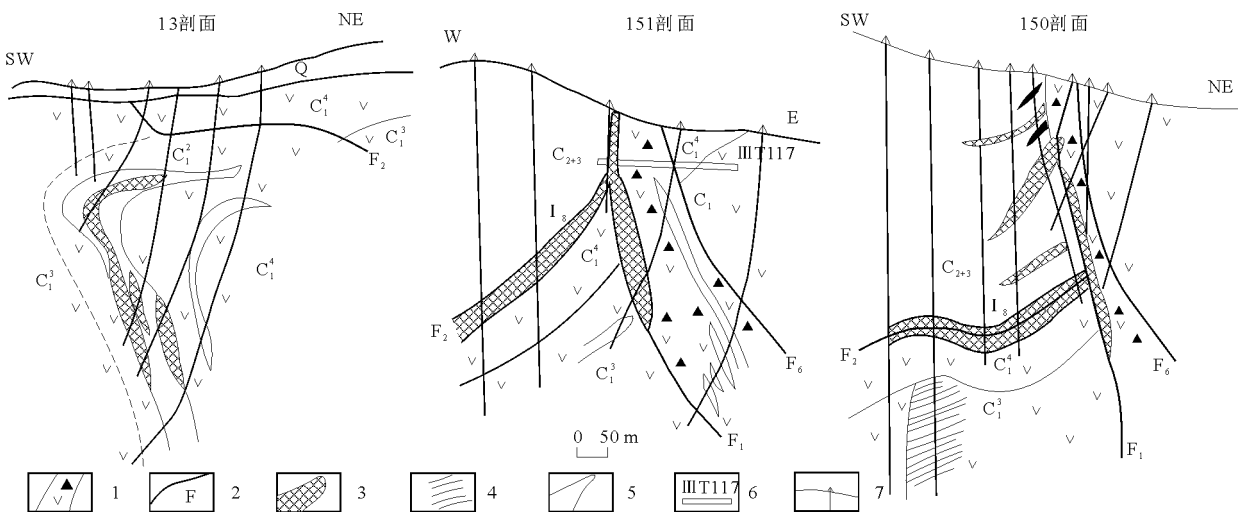


图 2　云南老厂铅-锌-银矿剖面图（引自西南有色地勘公司 309 队）

Q—第四系；C_{2+3}—中上石炭统灰岩；C_1^2—C_1^4—下石炭统火山岩；1—构造破碎带；2—断层；3—铅-锌矿床；4—夕卡岩型铜矿体；5—黄铁矿体；6—坑道；7—钻孔

火山岩中的矿石主要的蚀变矿物有石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、玉髓、钠长石以及蒙脱石等云母类矿物。其中，石英和绢云母是近矿蚀变的贯通矿物。火山岩中的矿带，其顶板发育绢云母＋绿泥石＋斜黝帘石＋石英＋玉髓。块状矿石中往往只有硅化（石英＋玉髓），其他蚀变矿物很少。在浸染—网脉状矿石中，蚀变主要是绢云母＋绿泥石＋石英＋玉髓，绿帘石发育少。在矿带的底板除了上述蚀变矿物以外，还有钠长石。

3.3　矿石物质成分

老厂为铅-锌-银（铜）共生矿床。以铅-锌-银共生和铅-锌共生伴生银矿石为主，早期火山作用形成的铅-锌矿体局部地段受后期叠加改造强烈，形成铅-锌-铜（伴生）矿石。Ⅰ号矿体含 Pb 2.85%，Zn 4.53%，Ag 228.7×10^{-6}。深部与隐伏岩体有关的含铜黄铁矿矿石位于第二火山旋回的

黄金地质研究所
信息室 提供

凝灰岩中，含 Cu 0.69%～0.88%（李光斗等，1998）。

矿石的矿物组成，原生矿石的主要金属与非金属矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、石英以及玉髓、绢云母、绿泥石等，次要矿物有黄铜矿、方黄铜矿、白铁矿、纤锌矿、雄黄、雌黄、绿帘石、透闪石、方解石、菱铁矿等。微量矿物有辉银矿、自然银、重晶石、石榴子石、透辉石、钾长石。氧化矿石的主要矿石矿物组成为褐铁矿、褐锰矿、铅矾、白铅矿和菱锌矿。

3.4 矿石的结构、构造

原生矿石矿物一般为自形—半自形—他形粒状结构，粗、中、细粒都有，方铅矿和闪锌矿以中粒为主，黄铁矿以细粒为主。黄铁矿见有草莓状结构，黄铁矿、闪锌矿和方铅矿的胶状、交代溶蚀、交代残余结构以及碎裂结构，金属硫化物见有固溶体分离结构。粗粒的方铅矿一般具有重结晶结构。

矿石构造有块状、角砾状（有同生和构造作用形成的后生 2 种）、蜂窝状、稠密浸染状、浸染状、斑点状、团斑状、层纹状、条带状等。氧化矿石一般为土状。

3.5 成矿期、成矿阶段

老厂矿床经历了早石炭世火山喷气成矿、中晚石炭世喷气沉积成矿、燕山期的改造 3 期作用，每个成矿期可划分不同成矿阶段。由于燕山期成矿叠加不属于 VMS 内容，而中晚石炭世形成的矿体绝大多数已经氧化，原生矿石组合特性几乎没有保留，故在此仅对早石炭世火山期成矿作阶段划分。

老厂矿床赋存于下石炭统火山岩及其与上覆碳酸盐岩滑脱带的矿体矿石主要由黄铁矿-石英、磁黄铁矿-胶状黄铁矿-（黄铜矿）、闪锌矿-方铅矿-石英-玉髓等 3 种类型的矿物共生组合，每一个组合基本代表相应的一个成矿阶段。

4 矿床地球化学特征

4.1 成矿温度压力与流体包裹体成分

对矿石中矿物的流体包裹体测定的均一温度如下（叶庆同等，1992）。下石炭统火山岩矿石中的闪锌矿 228～295 ℃；石英：火山岩铅-锌-银矿石 205～389 ℃，主要集中在 240～300 ℃；其中含铜黄铁矿 225～297 ℃，灰岩矿石 196～261 ℃，主要集中在 210～250 ℃；方解石：灰岩矿石 121～188 ℃，其中主要在 240～300 ℃。由此看来，主成矿阶段以中温为主，且灰岩矿石形成温度比火山岩矿石形成温度略低。

火山期成矿作用过程中，成矿流体的盐度为 6%～18.5%，压力为 12～17 MPa。从早阶段到晚阶段成矿流体的盐度降低，而成矿压力相应增大（叶庆同等，1992）。

流体包裹体成分的主要特点是液相成分以 Na^+，K^+，Cl^-，F^-，SO_4^{2-} 为主，气相成分以 CO_2 为主，其他组分很少，基本上属 Cl^--F^--SO_4^{2-}/Na^+-K^+ 类型流体，总矿化度 0.24～0.80 mg·mol。成矿期早到晚期阶段，矿化度有减小趋势，而 Na^+/K^+ 和 Cl^-/F^- 值有增高趋势。

4.2 稳定同位素地球化学

同火山期矿石的流体包裹体的 δD 为 −54.3‰～−91.90‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 6.4‰～−1.53‰。

硫同位素组成特点：老厂矿床硫化物的硫同位素组成变化不大，绝大多数在 0 左右（−1.7‰～5.2‰）。从总体上看，硫化物的硫同位素之间没有平衡关系，说明成矿是多期多阶段的。从每个成矿阶段来看，硫化物的 $\delta^{34}S$ 值存在着 $\delta^{34}S_{黄铁矿} > \delta^{34}S_{闪锌矿} > \delta^{34}S_{方铅矿}$ 的关系，而且 $\delta^{34}S_{黄铁矿}$ 的值覆盖其他硫化物的 $\delta^{34}S$ 值，即每一个阶段存在着某种平衡关系。其成矿流体 $\delta^{34}S_{\Sigma}$ 在 0～5‰之间。

矿石铅同位素组成属异常铅，特别是 ^{208}Pb 和 ^{207}Pb 变化大。具有下地壳铅或壳-幔混合铅以及多阶段演化铅特点。

4.3 稀土元素地球化学

矿石 $\sum REE$ 为 0.62×10^{-6}～36.42×10^{-6}，δEu 为 0.53，具有明显负铕异常。$\sum mCe/\sum mY$ 为 2.58～6.02，属轻稀土富集型，与区内火山岩一致（彭省临等，1996）。

5 矿床成因模式

综上所述，老厂铅-锌-银矿具有如下成因的特点。

1）矿床主要赋存于下石炭统、中上石炭统和下二叠统多个层位。矿体呈层状—似层状、脉状、层状与脉状复合状等多种产状。

2）Pb，Zn 与 As，Ag 紧密共生，Cu 与 W，Sn，Mo 关系密切，表明铅-锌-银和铜分别有不同的成矿期。

3）在火山岩矿体中见有明显的反映与火山活动同生的原生矿石结构、构造，如原生沉积矿石角砾、胶状、草莓状金属硫化物等。

4）矿区中上石炭统含矿层位不仅有火山物质

黄金地质研究所
信息室 提供

夹层，而且夹有喷流沉积特征的燧石岩和硅质条带。

5）燕山—喜马拉雅早期隐伏（中）酸性岩体（Rb-Sr 年龄 50 Ma）侵入，岩浆热液充填（交代）成矿与蚀变作用不仅使与其直接相关的斑岩矿化产生蚀变，而且，在深部与火山岩接触外带产生夕卡岩化、青磐岩和角岩化带，从而造就了矿区在空间上复杂的蚀变矿化相互叠加分布的格局。

6）S，Pb 同位素成分显示，矿石硫具有典型的幔源硫特点，成矿与火山（喷气或喷流）活动和岩浆侵入有关。多阶段演化特点的铅同位素组成暗示矿床经历了复杂的演化过程。矿石流体的 H-O 同位素特征显示，成矿流体既不是典型的海水，也不是典型的岩浆水，而是岩浆水与海水或大气水的混合。

7）火山岩中的矿体受火山旋回、火山机构、火山岩相的控制，形成上部块状矿，下部（网）脉状矿的基本格局，具有火山喷气沉积成矿特征。同时，也受层间滑脱构造等后期断裂的明显控制。

综合上述特点分析可以认为，老厂银-铅-锌（铜）-多金属块状硫化物矿床是由早石炭世火山喷气沉积、中晚石炭世火山期后喷流沉积及燕山—喜马拉雅早期（中）酸性岩浆热液充填（交代）3 种成矿作用叠加所形成的多因复成矿床（叶庆同等，1992；陈百友等，2000）。

早石炭世形成火山岩中的 VMS 矿床，成矿与第三旋回的火山碎屑岩有关。中晚石炭世形成碳酸盐岩中的 VMS 矿床，发育有硅质岩等喷气沉积。燕山—喜马拉雅期由于中酸性岩浆活动和区内的构造伸展，断裂特别是滑脱构造促进对早期的 VMS 矿床进行叠加改造，从而形成复杂结构的铅-锌-银矿床（图 3）。

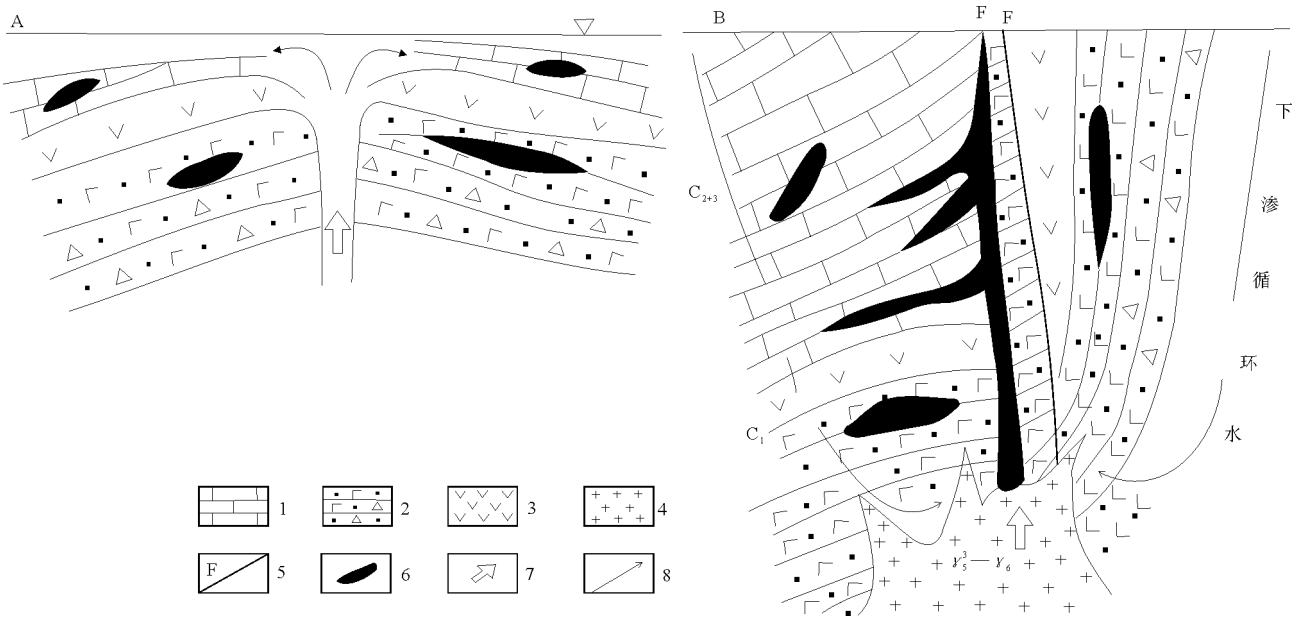


图 3　老厂矿床成矿过程和成矿模式图（叶庆同等，1992 改编）

图 A 为石炭纪—二叠纪火山喷发（流）与热水沉积；图 B 为燕山期—喜马拉雅期；C_{2+3}—中—上石炭统；C_1—下石炭统；1—碳酸盐岩；2—安山质火山碎屑岩；3—玄武岩；4—花岗斑岩；5—断裂；6—矿体；7—岩浆气液运动方向；8—大气降水下渗循环方向

6　控矿条件及主要找矿标志

6.1　控矿条件

1）大地构造环境为火山裂谷带，矿床受火山喷发间隙期的喷气沉积作用或海底喷流（热水）沉积活动制约。

2）火山穹隆构造及同生断裂控矿，较大的矿体往往赋存于火山口附近的洼地火山凝灰岩中，受近火山口机构和火山穹隆构造的双重控制。

3）岩性岩相控矿，火山碎屑岩，特别是 C_1^{5+6} 和 C_1^{8} 是良好的赋矿围岩。矿区的主要矿体等均产于其中。含硅质、白云质等化学沉积物的不纯灰岩是良好的赋矿层位。

4）断裂，控制火山喷发或沉积盆地发育的同生断裂和后期伸展发育时期层间滑脱是控制矿体的最后定位场所。

5）晚期岩浆热液改造，使矿体发生铜矿叠加或改造早期的 VMS 矿产使其重新活化就位。

黄金地质研究所
信息室 提供

6.2 找矿标志

1）发育菱铁矿、菱锰矿化以及燧石条带的不纯灰岩中。

2）发育黄铁绢云母硅化的中基性火山碎屑岩。

3）中上石炭统碳酸盐岩中的老硐、废石堆、古采场。

4）发育下石炭统中基性火山碎屑岩的古火山机构，爆发角砾岩、古火山沉积洼地等。

5）地表的铁帽。

6）Cu，Ag，Pb，Au，Sn，Mn 综合化探异常套合低电阻异常带，可能是隐伏矿体的埋藏部位（李光斗等，1998）。

7）遥感影像，具有套环、子母环组合部位往往代表火山喷发中心。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

辽宁红透山铜-锌矿床

红透山火山岩型块状铜-锌硫化物矿床是我国地质年代最老的铜矿床。矿区位于辽宁省东部的清原县境内，于 1958 年发现并开采了 20 余年。红透山矿区位于浑河断裂北侧，铁岭—清原隆起南缘。区域内主要出露地层为太古宇鞍山群和辽河群变质岩系。

含矿红透山组，主要由黑云母斜长片麻岩和角闪石斜长片麻岩等组成，并有含较多富铝矿物（夕线石、蓝晶石等）的长英质片麻岩和磁铁石英岩夹层，厚约 2 500 m。红透山型块状铜-锌硫化物矿床赋存于该组中段和下段，并明显受地层层位及岩性控制。

红透山组之下为石棚子组，上段以黑云母斜长片麻岩和浅粒岩为主，其次为斜长石角闪岩及角闪岩；下段以斜长石角闪岩，辉石角闪岩为主，有少量浅粒岩及黑云变粒岩夹层，厚为 1 625 m。

红透山组原岩可能为钙碱性火山岩-沉积岩建造，以拉斑玄武岩和英安质火山岩及凝灰质薄层互层为主，夹少量粘土质岩、凝灰质砂岩、长石石英砂岩、石棚子组中下部原岩可能为巨厚的拉斑玄武岩，上部可能为拉斑玄武岩-长英质火山岩。它们的变质年龄为 28.84（黑云母，Rb-Sr 法）亿年（据徐丹陛，1982）。

在该区变质岩系内，广泛发育由混合岩化、花岗岩化形成的花岗岩类岩石，可分为钾质和钠质 2 类。前者以清原钾质混合花岗岩和二长花岗岩为代表，后者则以英云闪长岩和混合花岗岩为特征。

矿区地层层序据辽宁地质公司 101 队研究，由上而下具以下特征。

H_5，以黑云母变粒岩、角闪石变粒岩为主，夹电气石黑云母片岩，电气石角闪片岩等薄层，岩性稳定，以含电气石为主要特征。

H_4，由角闪石片麻岩、黑云母片麻岩及石榴子石黑云母片麻岩等互层组成，总厚度为 1 200～2 900 m，可划分成 4 个小层。

H_4^4，角闪石岩层，夹云母片麻岩、榴闪岩及磁铁石英岩。

H_4^3，由黑云母片岩、角闪石片麻岩、夕线石黑云母片麻岩、石榴子石夕线石黑云母片麻岩、黑云母变粒岩、蓝晶石夕线石黑云母片麻岩等 6 种以上岩性组成的薄层互层带，但以黑云母片麻岩为主，系主要含矿层。

H_4^2，角闪岩层，夹黑云母片麻岩、云闪片麻岩及榴闪岩、紫苏辉石角闪岩等。

H_4^1，以黑云母变粒岩为主，夹黑云母石英岩、角闪片麻岩、夕线石黑云母石英片麻岩等，岩性变化较大，但沿走向延续较稳定。

H_3，以石榴子石直闪片麻岩为主，夹直闪石石英岩、角闪片麻岩、夕线石黑云母石英片麻岩等，岩性变化较大，但沿走向延续较稳定。

H_2，主要为角闪片麻岩，夹辉石角闪岩、榴闪岩、角闪岩及含钛铁矿石英岩。

H_1，以黑云母片麻岩为主，夹夕线石黑云片麻岩、石榴子石黑云片麻岩、角闪片麻岩、石墨十字石夕线石黑云片麻岩、榴闪岩、磁铁石英岩等，具较强混合岩化作用，含钾高。

含矿地层下部为钾质花岗岩，其间有许多片麻岩类的残留岩块。

矿床在空间上与厚度不大的黑云母片麻岩共生，特别是与富含硅、铝、镁的夕线石黑云母石英片麻岩、石榴子石黑云片麻岩、黑云母石英片麻岩关系最为密切，矿体常在其底部产出。这些含矿的原岩，主要是火山碎屑及火山碎屑质沉积岩和少量沉积岩相互交替的产物。其上下为变质基性熔岩喷发之间，处于动荡的火山喷发沉积间歇旋回中。因此矿体主要受一定的层位及岩性控制。

黄金地质研究所
信息室 提供

矿体形态较复杂，呈柱状、脉状、似层状，剖面上属分支复合的似层状矿体。矿体规模大小不等，一般长 110～420 m，宽数米，厚度变化大，最厚达 60 m，已控制最大延深 1 200 m（图 1）。如无倒转现象，则下部主要是浸染型矿石，且大多数与下盘岩石渐变过渡，上盘与围岩接触清楚。

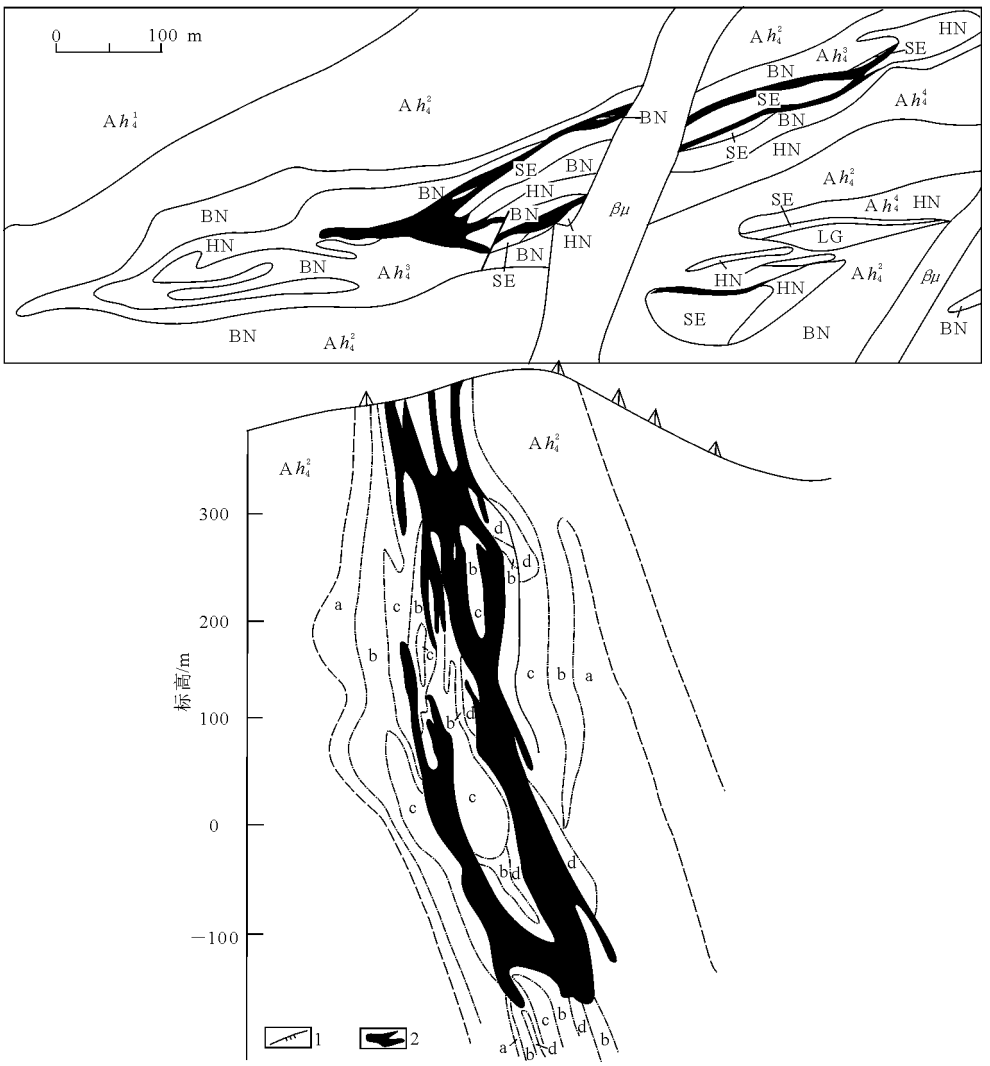


图 1　红透山矿床地质图及地质剖面图（据 1977 年辽宁 101 地质队资料缩编）

Ah_4^4—角闪片麻岩；Ah_4^3—黑云片麻岩与角闪片麻岩互层；Ah_4^2—角闪片麻岩；Ah_4^1—黑云片麻岩；BN—黑云片麻岩、变粒岩；HN—角闪片麻岩变粒岩；SE—夕线石黑云片麻岩、变粒岩；LG—浅粒岩；$\beta\mu$—辉绿岩；a—黑云母斜长片麻岩薄层；b—角闪片麻岩薄层；c—黑云片麻岩薄层；d—夕线片麻岩薄层；1—断层；2—矿体

矿石中金属矿物主要有黄铁矿（含量 50% 以上）、磁黄铁矿（20%～30%）、黄铜矿（1%～10%）、闪锌矿（1%～15%），偶见少量方铅矿与方黄铜矿和辉铜矿。非金属矿物绿泥石、绢云母、白云母、透闪石、堇青石、绿帘石、角闪石、萤石、锰铝榴石、方解石、白云石等矿物。组成矿石的金属硫化物主要有 3 种组合类型：黄铜矿-闪锌矿-黄铁矿组合位于矿体中部。黄铁矿-磁铁矿-黄铜矿组合位于矿体之间过渡部分。磁黄铁矿矿石分布于矿体边部。在富矿体内，在倾斜矿体下盘较富且多为致密型矿石，而上部较贫，常为浸染型矿石。矿石主要构造为粗粒致密块状、角砾状及条带状、浸染状等。

矿石中主要有益组分铜、锌、硫的比值为 1∶1∶15。铜的含量较高，伴生有益组分为 Au，Ag，Cd，Co，Mo，Pb 等，其中 Au，Ag 等已综合利用。

矿床的热流蚀变范围不大，有硅化、绢云母化、绿泥石化、透闪石化和堇青石化。前 3 种蚀变较强且普遍，后者仅局部可见。蚀变强度及范围与矿体厚度、矿石类型有关。

对该矿床的成因认识主要有以下 2 种认识。

黄金地质研究所
信息室 提供

1）火山喷发沉积变质混合热液矿床。成矿物质来源于火山喷气作用，原始矿床为优地槽古海相火山喷发形成的火山沉积类型，区域变质和混合岩化作用进行了再生改造（辽宁冶金勘探公司 101 地质队，1980）。

2）矿床属太古宙与海底古火山喷发和沉积作用有关且经变质作用改造的层控矿床（中国有色金属总公司辽宁地质公司 101 地质队，1984）。

摘自《中国矿床》

河北蔡家营铅-锌-银矿床

蔡家营铅-锌-银矿区位于河北省张北县西南 64 km 处，因在蔡家营村附近发现的矿区而得名。蔡家营矿床是河北省地矿局第三地质大队于“七五”期间勘查的一个大型铅-锌-银矿，截至 1999 年，仅在矿区中的Ⅲ号矿带探明储量：锌 144 万 t，其中富矿达 60% 以上，伴生银 832 t，伴生金 17 t。

1 矿床发现、勘查、开发简史

1958 年，该矿区被当地群众当铁矿开采。1959 年，河北省地质局张家口综合地质大队三中队经过工作认为是铅-锌矿，并用浅井、平硐进行控制，于 1961 年提交了大量地质、物化探勘查工作，取得了丰富的地质勘查成果。1987 年，编写了“河北省张北县蔡家营铅-锌-金-银矿区普查评价工作报告”，获得铅＋锌贫矿 176 万 t，品位 4.47%；铅＋锌富矿 100 万 t，品位 8.95%；伴生金 19 t，品位 0.49×10^{-6}（其中单独银 211 t，品位 193.06×10^{-6}）。1988 年，决定继续对矿区进行评价，投入了大量钻探、槽探等工程。1990 年，提交了“河北省张北县三号乡蔡家营铅-锌-银矿Ⅲ矿带详查地质报告”。在地质勘查工作同时，1988—1991 年，中国地质科学院矿床研究所、天津地质矿产研究所、物化探研究所等会同地质三队，对该区进行了卓有成效的科研工作，为进一步扩大矿区找矿前景提供了依据。

2 矿床地质特征

2.1 地质概况

蔡家营铅-锌-银矿床是华北地台北缘兰阎—蔡家营—青羊沟成矿带中的重要组成部分，位于内蒙地轴中部，蔡家营隆起的东部边缘。矿区出露的地层主要是古元古界红旗营子组变粒岩，上侏罗统白旗组和张家口组火山岩。与矿化有关的燕山期侵入岩主要是薛家沟花岗斑岩株和石英（或花岗）斑岩脉。通过蔡家营矿区呈 NEE 向延伸至张麻井一带的断裂构造带 F_{45}，对区内有关斑岩体和矿床分布起着控制作用（图 1）。

2.2 矿体规模

矿体大部分产于角闪黑云斜长变粒岩内，仅有少数产于白旗组火山岩中，呈隐伏—半隐伏状产出。矿体（脉）产状多样，走向有 NWW，SN 和 NE 等，倾角不大，现已勘查出 5 个矿段，其中Ⅲ，Ⅱ，Ⅴ矿段的矿体规模大、品位富。Ⅲ矿段位于矿区北部 EW 长 1 320 m，SN 宽度不一，最宽达 1 200 m，共圈出 50 个工业矿体，一般长 300～800 m，有的长达 1 000 m 以上，厚度变化大，0.1～42.3 m，平均厚度 0.62～6.62 m，延深 190～520 m。Ⅱ矿段位于矿区南部，大部分为隐伏矿体，长 1 200 m，宽 400 m。Ⅴ矿段位于矿区西部，为盲矿，矿体长 1 800 m，宽 500～800 m。矿体形态以脉状、不规则状、透镜状、囊状等产出。

2.3 矿石组成

矿石以原生硫化物为主，按矿物组合分为 2 种：毒砂-方铅矿-黄铁矿-闪锌矿矿石（Ⅲ矿段）和黄铜矿-黄铁矿-毒砂-方铅矿-闪锌矿矿石（Ⅴ矿段）。金属矿物主要有闪锌矿（包括铁闪锌矿）、方铅矿、黄铁矿，次要矿物为毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、自然金、自然银、深红银矿、黝锑银矿等。矿石主要有自形—半自形粒状、乳滴状、骸晶、交代残余、压碎和揉皱等结构；构造主要为脉状、块状、稠密—稀疏浸染状和角砾状等。

2.4 围岩蚀变

近矿围岩蚀变具线性热液蚀变特征，并因岩性不同而蚀变产物有所差异。角闪黑云斜长变粒岩或片麻岩，主要为绿泥石化、阳起石-绿帘石化、碳酸盐化、绢云母化和硅化；酸性火山碎屑岩和石英斑岩多为硅化、绢云母化和碳酸盐化等。

2.5 矿床类型

该矿床经地质科学院矿床研究所和内蒙古地矿局地质三队有关专家研究认为，是燕山晚期形成的中温热液充填交代脉状铅-锌-银矿床，统称与陆相火山活动有关的“蔡家营式”脉状铅-锌-银矿床。

黄金地质研究所
信息室 提供

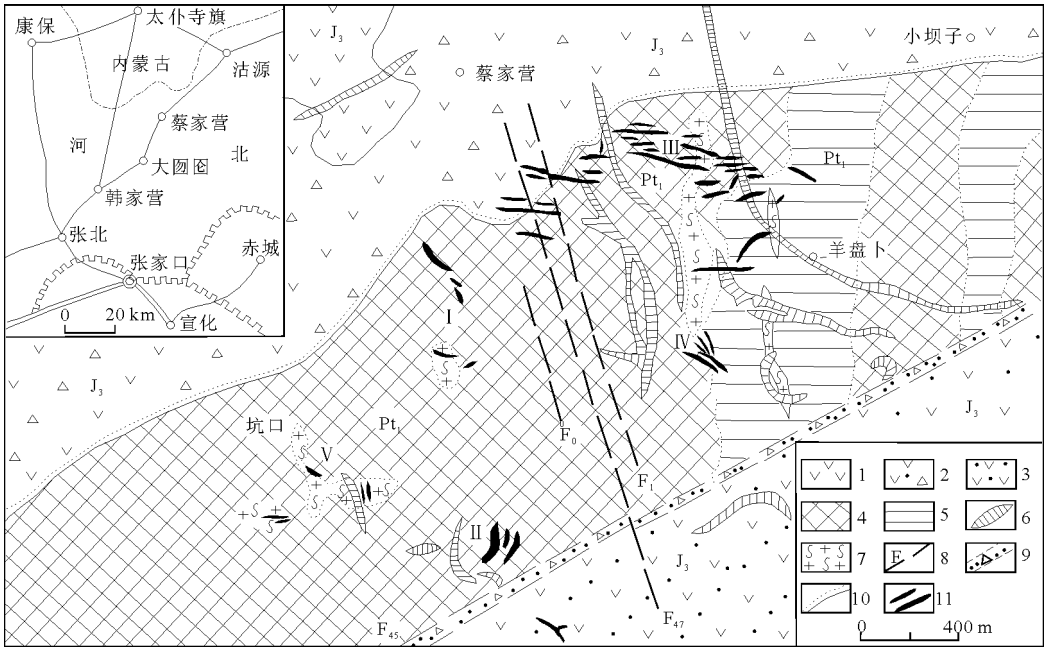


图 1　蔡家营铅-锌-银矿床地质略图

Ⅰ—Ⅴ—矿段编号；1—安山玄武岩；2—凝灰质角砾岩；3—流纹质晶屑凝灰岩；4—角闪黑云斜长变粒岩；5—夕线石榴斜长变粒岩；6—燕山期石英斑岩（花岗斑岩）脉；7—加里东期花岗质混合岩；8—断层；9—断裂带；10—不整合界线；11—矿脉

摘自《中国矿情》

澳大利亚麦克阿瑟河锌-铅-银矿床

麦克阿瑟河锌-铅-银矿床规模巨大，面积 1.5 km^2，矿体厚度 55 m 左右，大约有品位 Zn 10%，Pb 4%，Ag 50×10^{-6} 和 Cu 0.2% 的矿石 2 亿 t。

1　区域地质概况

该矿床产于北澳大利亚巴顿海槽的东部边缘古—中元古界一系列凝灰质岩中，海槽内沉积物厚达 5.5 km，由未变质的白云岩、粉砂岩、页岩和凝灰岩组成．年龄为 1 600～1 400 Ma。海槽内岩浆作用微弱。

麦克阿瑟河地层基本层序如图 1 所示，H. Y. C. 黄铁矿页岩是赋矿的主要岩段。该岩段主要由黑色和深灰色薄层状黄铁矿页岩和粉砂岩组成，并有含黄铁矿较少的碳质页岩、粉砂岩、白云碎屑岩、滑动或扰动角砾岩和凝灰岩等夹层。该层沉积时，凝灰岩的分布面积达到最高值。

麦克阿瑟河矿床产于H. Y. C. 黄铁矿页岩段

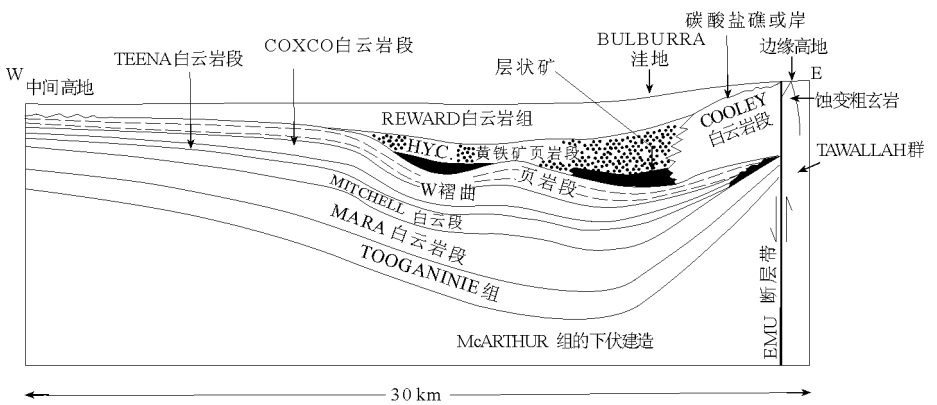


图 1　麦克阿瑟河区地质剖面图

黄金地质研究所
信息室 提供

靠近底部处，它被一层厚 20 m 的碳质白云质页岩和角砾岩和下面的 W 褶曲页岩隔开。

H. Y. C. 含黄铁矿页岩段比较厚的岩层中夹有白云粗碎屑岩和沉积角砾岩。白云粗碎屑岩每层厚度通常为 2.5～5.0 cm，有分级，但分选不好。在麦克阿瑟河地区共有白云粗碎屑岩 350 层。岩石碎屑主要为白云质，其次为砂岩、粉砂岩、页岩和含黄铁矿的沥青质页岩等，白云岩碎屑部分具矿化；沉积角砾岩层分布不普遍，其厚度 0.25～15 m，大多数呈楔形产出，在 H. Y. C. 层中有 15 层，该角砾岩层中含有少量粗粒硫化物夹层。

在某些情况下，可见到从角砾岩—分级浊流岩—白云质粗碎屑岩的横向过渡现象。

麦克阿瑟河矿床最下部的 2 个矿体中有几个比较富含碳酸盐的夹层。这些夹层的特点是其中含有圆的或棱角状白云岩结核（<1 mm—>10 mm），这些结核被硫化物矿物和碳质的凝灰质页岩所包围。

每个矿体中都具有矿化很差的薄层，其中包括均粒的白云质砂粗碎屑岩层及少量凝灰岩层以及结核状燧石层。

麦克阿瑟河地区元古宇沉积层受 2 个宽阔的盆地褶曲的影响，一个走向为 70°；另一个走向为 20°。主要断层有 2 组，其一走向近 SN（例如 Emu 断层）；另一呈 NW—SE 向（例如 Calwn 断层）。

2 矿床一般特征

2.1 矿体和夹层

麦克阿瑟河矿床包括 7 个矿化页岩矿体，这些矿体被一些金属含量极少的富白云石夹层隔开。

2.1.1 *矿 体* 主要由细粒硫化物薄层和凝灰质页岩组成。在高品级部分，几乎辨认不出非硫化物纹层（图 2），黄铁矿呈粗粒透镜体和斑点状分散在整个矿体中。偶尔也有一些小的、不均匀的硫化物碳酸岩细脉，在这些细脉中常会有一些重晶石。细粒整合的硫化物条带肯定是在沉积物固化之前形成的，滑移、滑动和冲刷构造广泛分布。硫化物和页岩条带常被没有矿化的显微断层所破坏，后者被解释为早期成岩作用的脱水构造。

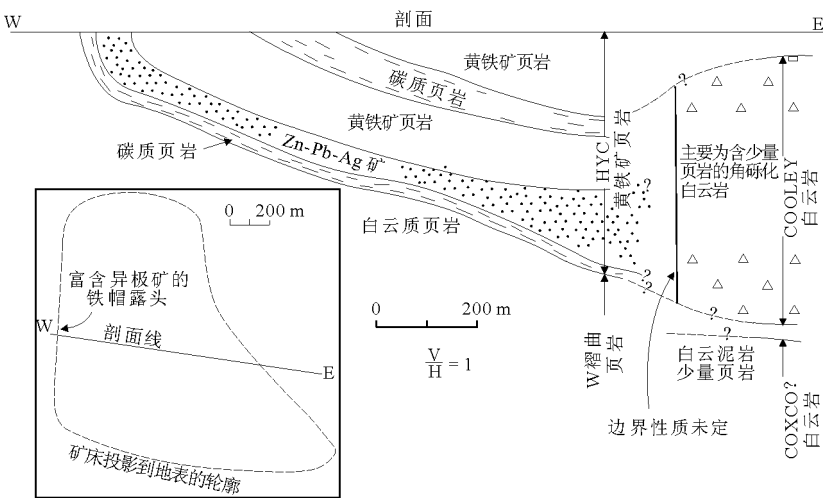


图 2 麦克阿瑟河矿床的剖面图和平面图

2.1.2 *夹 层* 在麦克阿瑟河矿床中，金属含量比较贫乏的夹层厚度一般为 1～3 m，但矿床东部这种夹层要厚几倍。

界于 2 个最低矿体之间的夹层，基本上由含有一些白云质结核的沥青质白云质页岩构成。在这些夹层中富含黄铁矿及经济价值不大的细粒闪锌矿和方铅矿。

在较上部矿体间的夹层则主要是白云质砂粗碎屑岩和角砾岩。它们含有少量粗粒闪锌矿、方铅矿和黄铁矿以及更少量的黄铜矿、白铁矿和毒砂，呈分散的颗粒状散布于白云岩碎屑中。

2.2 矿体中矿物组成

矿体中的凝灰质页岩纹层主要由石英、钾长石、铁白云石、伊利石、绿泥石、高岭土、浸染状硫化物和碳质物组成。伊利石和高岭土的出现表明，当页岩沉积、成岩时沉积环境具有弱酸性条件。

麦克阿瑟河矿床中的主要硫化物是黄铁矿、闪锌矿和方铅矿。含量较少的硫化物为黄铜矿、毒砂、白铁矿、辉铜矿和铜蓝。

黄金地质研究所
信息室 提供

矿体中绝大部分的金属硫化物条带都是以一种矿物占主要地位，也就是说，它们基本上是单矿物。

2.2.1 *黄铁矿* 在低品位矿石中，黄铁矿是含量最多的硫化物。在高品位矿石中，它的含量比闪锌矿稍少一些。

麦克阿瑟河矿床的矿体中，黄铁矿有几种变种，表明其形成于几个世代。

首先形成的黄铁矿是带状到浸染状，由很细的自形到圆形晶粒组成。颗粒直径一般为 2～5 μm。该变种黄铁矿数量最多，大致占黄铁矿总量的 50%～60%。

颗粒较粗的黄铁矿，常含有细粒黄铁矿的核心，周围被各种不同比例的较晚形成的黄铁矿所包围。这种黄铁矿占黄铁矿总量的 30%～40%。

另外，在整个矿体中还散布一些比例不大，不规则形或他形的黄铁矿结核。在某些样品中，颗粒粒径达几毫米。

总的来说，显微莓球状黄铁矿比较少见，但它们也会在一些局部地点富集。它们由细粒的球状黄铁矿晶体以至透镜状黄铁矿团组成，偶尔也有由一些较大的球粒组成。单个显微莓球粒径达 200 μm。

2.2.2 *闪锌矿* 在高品位矿石中，闪锌矿是含量最多的矿物。闪锌矿主要呈细粒状，几乎是单一矿物的条带，条带厚 1 mm 左右。此外，闪锌矿也有呈不规则斑点状，斑点大小从几微米到几百微米。较少量的粗粒闪锌矿和一些结核状黄铁矿产于结核状白云石矿石和硫化物碳酸盐脉中。偶尔也有一些非常薄的闪锌矿细脉切穿了结核状黄铁矿，充填在晚期矿物的裂隙中。

2.2.3 *方铅矿* 方铅矿比黄铁矿和闪锌矿少得多，它与闪锌矿密切共生，主要是在闪锌矿条带中呈不规则小颗粒产出，并且构成了整合的、基本上是单矿物的条带和异离体。少量较晚形成的方铅矿产于结核状白云石的交切细脉中，与某些结核状黄铁矿共生，并呈半自形到自形晶体，晶体最大的达 0.06 mm，横向散布在整个矿化页岩中。

2.2.4 *少量硫化物* 黄铜矿主要呈不规则或纺锤形小粒分布于闪锌矿中。在靠下的 4 个矿体的高品位矿石中，黄铜矿含量较多。毒砂含量少但分布广泛，多呈细小的针状晶体散布在某些凝灰岩层的条带中。少量白铁矿产于某些结核状黄铁矿层和硫化物碳酸岩细脉中。辉铜矿和铜蓝很稀少。

2.3 矿体地球化学

按元素在矿石中含量的高低排列为 Zn，Pb，Fe，Ag，Cu，As，Cd，Hg，Sb，Tl。

2.3.1 Zn，Pb 高品位矿石含有 Zn 24%，Pb 12%，矿石平均含 Zn 10%，Pb 4%。7 个矿体 Zn/Pb 值为 2.9～1.6，变化幅度很窄，这个比值并没有随层位不同或矿体厚度不等而出现系统变化的趋势，但是在靠近矿体横向尖灭的部位，铅比锌的含量降低得快一些。

2.3.2 Fe 样品中 Fe 的含量变化很大，多数样品含 Fe 4%～25%，平均含 Fe 10% 左右。大部分是黄铁矿中的铁，部分是铁白云石中的铁。

2.3.3 Ag Ag 的含量与铅品位成正比，最高含量为 120×10^{-6}。

2.3.4 Cu Cu 在下部和中部矿体中含量最丰富，在 4 号矿体中含量最高，达 0.5% 左右，总平均为 0.2%。

2.3.5 As 矿体中具有相当高的 As 含量，大部分为 $1\,000\times10^{-6}$～$2\,000\times10^{-6}$。As/Fe 的平均比值为 0.01 左右。

2.3.6 Cd 与锌密切相关，含量 20×10^{-6}～550×10^{-6}。

2.3.7 Hg 该元素含量为 770×10^{-6}～$1\,710\times10^{-6}$。

2.3.8 Sb Sb 含量最高为 130×10^{-6}，全矿区平均含量为 50×10^{-6}。

2.3.9 Tl Tl 在全部矿体中的浓度变化相当大，部分矿体含 Tl 50×10^{-6}～120×10^{-6}。

此外，尚有很多次要元素，如：Au，B，Bi，Cr，Ga，La，Li，Mo，P，Rb，Sc，Th，Ti，V，Y 和 Zr 等，它们在矿石中非常分散。

2.3.10 *硫同位素* 闪锌矿的 $\delta^{34}S=3.3‰$～$8.9‰$；方铅矿的 $\delta^{34}S=-1.2‰$～$5.7‰$，无系统变化趋势。黄铁矿的 $\delta^{34}S=-3.9‰$～$14.3‰$，从底部到顶部是渐变的。

3 矿床成因

3.1 早期成岩作用形成矿床

1）矿体在地层中呈整合产出；具有早期成岩构造；2）和凝灰质沉积岩共生；3）矿石中基本上是单矿物的金属硫化物条带。

3.2 海底喷出物沉积形成矿床

1）Fe+Zn+Pb 含量达 25%（重量），比不含火山岩组分的沉积岩中层状矿床的金属含量高的多；2）Zn-Pb-Ag 赋存在含凝灰质碎屑最多的层间，在这种碎屑中有一大部分具有玻屑构造，因

黄金地质研究所
信息室 提供

此，含矿溶液可能直接或间接地来自产生这些火山碎屑的酸性岩浆。

3.3 可能在低温下聚集成矿

1）如细菌还原硫酸盐的过程与黄铁矿的形成有关，生物活动地区的温度必然低于 100 ℃；2）矿石中低序列碳质物表明，矿石形成温度低于 150 ℃；3）闪锌矿和方铅矿共存的硫同位素资料，可以解释为在低温下沉淀、未达到同位素平衡。

摘自《贵金属和有色金属矿床模式暨典型矿床实例》

美国塞尔维希尔锌矿床

塞尔维希尔锌矿床是层控矿床，宽 15 m，厚 5 m，长度大于 550 m。矿床产于寒武纪海底火山碎屑—凝灰岩层序内的泥质板岩中。

1 矿床地质

1.1 地 层

矿区地层层序由凝灰质沉积岩和薄层的火成碎屑熔岩互层所组成。

纹层状粉砂岩是在没有火山活动时从浊流中沉积的。镁铁质凝灰岩大部分是凝灰质砂岩和泥质火山砾凝灰岩。矿体以南，在镁铁质凝灰岩的底部有几个带棱角的长英质凝灰岩块，直径达 7 cm。在镁铁质凝灰岩中的粒级层和滑动构造不象在长英质凝灰岩中发育。

长英质凝灰岩是一个复杂的火山碎屑岩的岩石单元。该单元是由凝灰质泥岩、粉砂岩和砂岩、泥质火山砾凝灰岩、泥流角砾岩、火山砾凝灰岩、凝灰岩和厚 15 cm 的方解石层组成。大部分凝灰质砂岩都是由许多底部为砂岩向顶部逐渐变为粉砂岩的岩层组成。滑动褶皱和断层、负荷构造、旋卷层理和交错层理等屡见不鲜。泥流角砾岩以具有粉砂岩碎块可与泥质火山砾凝灰岩相区别。角砾岩成透镜体状，其中最大的至少厚 12 m，长 65 m。

被火成碎屑岩流侵位的薄的、无层理的火山砾凝灰岩单位和凝灰质的沉积物成互层。它们大部分是安山岩和英安岩，但成分上可从玄武质到流纹质。许多细粒凝灰岩和凝灰质沉积岩在手标本上不能区分。

当地叫作泥质板岩的块状或微成层的黑色凝灰质泥岩，包围着矿体和矿层成互层。大部分矿体都和绿泥石泥质板岩呈明显的接触，含有高达 90% 黑云母的黑云母泥质板岩同矿体的若干部分接触。从黑云母泥质板岩的有限的矿物种类及其在空间上和矿体有关这 2 点来看它有一部分是在热液蚀变中形成的。绿泥石泥质板岩含有种类较多的矿物组合，在有的地段，黄铁矿形成于粒级层的底部。在含有泥质板岩的长英质凝灰岩中，绢云母的含量大于绿泥石，并且其中绿泥石呈细粒，但矿带内的绿泥石泥质板岩中则大部分是含少量绢云母的粗粒绿泥石。矿体周围的绿泥石的粒度和丰度说明，它们有一部分是热液蚀变形成的。

矿区内和海相沉积岩互层的火山岩是海底喷发沉积的。当时，密度较大的火成碎屑物形成块状玄武岩流，密度较小的火成碎屑物沉积在底部层位之上，经浊流再沉积而形成层状凝灰岩，覆盖在岩流之上。因为矿区内的火成碎屑是在离火山源相当远的地方沉积的，所以底部块状岩流不厚。上覆的层状火成碎屑均在浊流搬运的过程中和沉积物掺台在一起。覆于矿体西部之上的凝灰岩颗粒较粗，火成碎屑岩流较厚；而矿体东面之上的泥质角砾岩较薄。由此看来，火山中心可能位于矿体之西。火山砾凝灰岩、泥质火山砾凝灰岩和泥流角砾岩位于层序的中间，薄层的粉砂岩在层序的下部和上部。矿带位于火山层序的中部、离火山中心不远，这对了解矿床的成因来说是很重要的。

1.2 构 造

塞尔维希尔断层以东的岩石位于一个大向斜槽内。地层走向约 50°，北侧向 SE 倾斜，倾角 10～30°，南侧向 NW 倾斜，倾角 50°。

在塞尔维希尔断层和果尔达希尔之间的“果尔达希尔剪切带”内，一组走向 15～30°、倾向 NW 的劈理，使得早先的轴面劈理消失，岩石由于果尔达希尔剪切面而重新褶皱。塞尔维希尔矿区地层向 NW 倾斜，倾角 45～65°，劈理不发育；该矿区位于背斜层的转折点附近，该背斜层的轴面，就是塞尔维希尔断层，这里的粒级层处在直立的位置，沿着褶皱的翼部，地层倾向 NW，倾角 80°（与劈理面平行），劈理发育良好，云母的重结晶使一些层理遭到破坏。

在矿区内的钻孔横切了几组厚 0.5～4 cm，长度大于 150 m，倾角近直立的剪切带。少数几组剪

黄金地质研究所
信息室 提供

切带由显微角砾岩组成。在这些显微角砾岩中，火山砾在劈理面内被拉得很长或者被压平，斑晶破碎并粒化。在一组剪切带内的粗的断层擦痕面看到，剪切运动是垂直的，断层擦痕面、断层泥以及显微角砾岩没有重结晶这几点说明，矿区内的剪切是脆性的。

沿着塞尔维希尔断层未发现剪切带，且沿断层没有位移，仅是作为果尔达希尔剪切带的东界。

1.3 矿 体

在 20 m 水平面上，矿体宽 60 m；到 210 m 水平面上，矿体宽度变窄到 9 m。矿体有 2 个平行矿层，厚度大致相等。上层矿较下层矿宽度要小些，仅有下层矿的 1/2～1/3。矿体都呈透镜状，厚 2～3 m，直径约 15 m。沿走向变薄。较薄的透镜体向两侧可延伸 45 m，大多数地方有 5～8 m 厚的泥板岩将 2 矿层隔开。

1.4 硫化物

在矿体较厚的地方，一般有 1～2 m 厚的闪锌矿-方铅矿矿石和闪锌矿矿石；1～2 m 厚的方解石-透闪石岩与浸染状硫化物和薄层硫化物组成的矿石。在矿体中没有看到锌、铅或铜的垂直分带或侧向分带现象，但在正常的富锌矿体中有几个富铅或富铜的矿囊。上层矿的铅含量大于下层矿。

硫化物矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、方黄铜矿和正方硫铁矿及磁黄铁矿。

2 成矿特征

一般在富泥质板岩中富铜、锰和银与方解石共生，镉同闪锌矿有关。铋、砷、银和黄铁矿伴生，在黄铁矿中含锡达 210×10^{-6}，黄铜矿含金达 25×10^{-6}。

2.1 矿床成因

塞尔维希尔矿床是火山沉积成因，是在一个洋盆地中以化学物质沉淀下来的，主要有以下证据。

1）矿体与海相沉积火山岩共生；

2）成矿作用和火山事件在地层上有着密切联系；

3）矿体呈整合层状；

4）矿石具沉积结构特征。

矿体的几何形态及其在宽度和厚度上的变化是由矿体沉积时的海底地形决定的，在地形低洼处形成透镜状矿体。在 11 水平上所找到的强烈的石英成矿作用，是在矿液到达海底之前，从矿液中沉淀下来的，说明矿液是从这个地区的上方流入海底的。在塞尔维希尔矿床没有发现广泛的蚀变管道。在 11 中段下层矿顶部的闪锌矿-黄铁矿矿石，在地层上的位置和它们有限的分布说明，它们是从少量后期矿液中沉淀的。黄铁矿矿石透镜体可能是由后期矿液形成。

2.2 共生组合

在下层矿中，闪锌矿-方铅矿矿石是在闪锌矿-黄铁矿矿石之前沉淀的；而在上层矿中闪锌矿矿石是介于闪锌矿-方铅矿和闪锌矿-黄铁矿矿石之间沉淀的。闪锌矿-黄铁矿矿石是在矿液中大部分铅都沉淀以后才沉积下来的。但在上层矿中则是在两者之后沉淀的。黄铁矿是在矿液铅、锌不饱和的时候形成的。

摘自《贵金属和有色金属矿床模式暨典型矿床实例》

加拿大基德克里克（Kidd Creek）锌-铜矿床

位于加拿大安大略省的基德克里克锌-铜矿床是世界著名的块状硫化物矿床之一，有铅、锌储量 952 万 t，铅、锌品位 6.42%；有铜储量 333 万 t，铜品位 2.4%。该矿床于 20 世纪 60 年代发现，航空电磁法在矿床发现过程中起了重要作用。

1 区域地质背景

基德克里克矿床位于加拿大地盾太古宙阿比提比绿岩带的西端。阿比提比绿岩带位于安大略省南部和魁北克省西南部，是加拿大地盾中最大的、单一的太古宙绿岩带，绿岩带 EW 长 750 多 km，SN 宽 100～150 km，面积达 94 100 km^2，由超镁铁质到长英质火山岩、碎屑岩和化学沉积岩以及许多花岗岩及橄榄岩的侵入体构成。火山岩和沉积岩层由于受到沿 EW 向轴发育的褶皱作用影响已经变形，花岗深成岩体沿背斜轴有选择性地侵位。

阿比提比绿岩带中长英质火山岩的数量少于沉积岩和镁铁质火山岩，仅占出露基岩的 3.6%，而沉积岩占 16%，花岗岩质岩石占 32.3%，镁铁质火山岩占 45.7%，镁铁质侵入岩占 2.5%。而从经济价值上来说，长英质火山岩是最为重要的，因为

黄金地质研究所
信息室 提供

这个地区所有块状有色金属硫化物的可采矿床均产在其中。

长英质火山岩分布不均匀，集中在代表火山活动中心的几个地区内，就在这些地区组成了矿田或矿床，包括提敏斯（Timmins）、诺兰达（Noranda）和马塔加米（Matlagami）3 个著名的矿田和若干矿床，整个矿带不同规模矿床（点）有上百个。

基德克里克大型矿床产在提敏斯矿田中。提敏斯矿田位于安大略省东部边界附近，处于阿比提比绿岩带的中西段。矿田内分布最广的为太古宙的安山-玄武岩，火山岩与火山碎屑岩及沉积岩夹层呈交替产出。根据大量粗屑火山角砾岩、酸性火山岩的分布特征，可确定出 2 个火山中心。已知工业矿床均围绕火山中心分布，包括基德克里克（Kidd Creek）、卡马科蒂亚（Kama Kotia）等 5 个主要矿床。其中卡马科蒂亚等 4 个小型矿床产于一个火山机构内，而基德克里克大型矿床则单独产于另一个火山喷发中心的岩颈带附近。

2 矿床地质特征

基德克里克矿床位于局部变厚的长英质火山岩堆上。该火山岩堆主要由 2 类岩石组成：流纹质火山碎屑岩及其上覆的石英斑岩。矿体产在流纹质火山碎屑岩层的上部层位中，部分与碳质层共生，碳质层是一个由沉积物和火山物质混合组成的复杂岩层。长英质岩堆被浅色玄武岩或安山岩（通称英安岩系）所覆盖。

矿床分为北部和南部 2 个矿体，矿体之间被中部剪切带隔开。2 个矿体又分为 5 个矿带（图 1）。表 1 表示穿过北部矿体的综合地层剖面，表明了矿体与围岩之间的地层关系。

2.1 容矿岩石

基德克里克矿床的容矿岩石主要有流纹质火山碎屑岩、碳质层、块状流纹岩、石英斑岩、英安岩系、安山岩-闪长岩、蚀变超基性岩等（图 2）。

流纹质火山碎屑岩组成长英质火山岩堆，岩堆厚达 1 500 英尺，而矿床直接位于长英质火山岩堆上，矿石产于流纹质火山碎屑岩层的上部层位上。流纹质火山碎屑岩的特征是碎屑的岩性和结构不均一，其中长英质岩石碎屑最多，并含有未蚀变的、硅化和绢云母化的碎屑物。局部还含有黄铁矿、闪锌矿、带状黄铁矿-闪锌矿碎屑，偶尔还有黄铜矿碎屑。英安岩碎屑也占一小部分。在露天场以东出

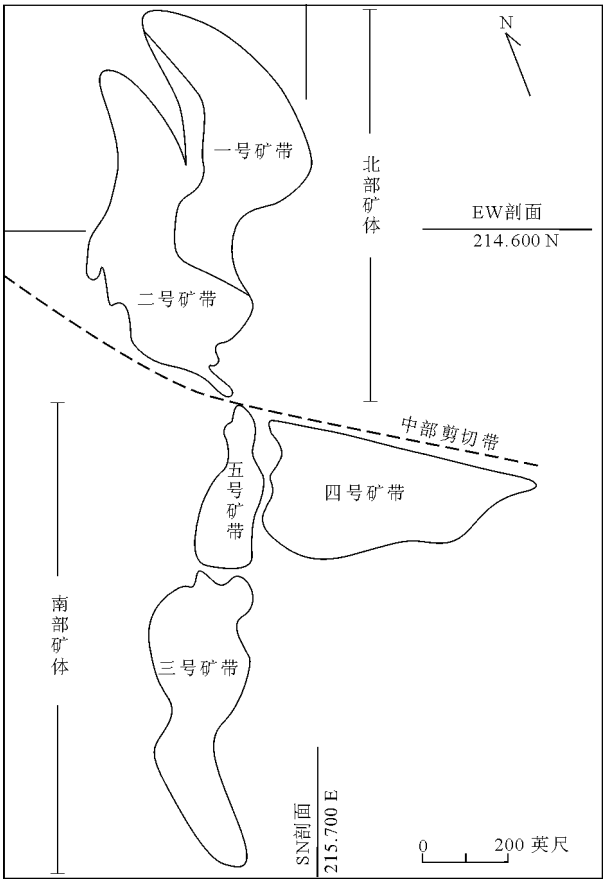


图 1 加拿大基德克里克矿床矿带示意图（据 Walker R R 等，1974）

表 1 穿过北部矿体的综合地层剖面

厚度 /英尺	岩 性
（新）	英安岩系：玄武岩或安山岩岩流和火山碎屑岩，少量岩流间的沉积物
250～500(?)	石英斑岩：石英-长石斑状流纹岩，部分为粗粒凝灰岩
250(?)	流纹质火山碎屑岩：若干硫化物和英安岩碎屑
20～100(?)	碳质岩：泥岩、燧石，层状硫化物以及流纹岩、硫化物、英安岩、泥岩和燧石的碎屑物
100～200(?)	块状和带状硫化物：富含黄铁矿和闪锌矿
100～250(?)	细脉状黄铜矿矿石：容矿岩石部分为流纹质火山砾岩
约 800(?)	流纹质火山碎屑岩：越近底部可能集块岩越多；包含块状岩相——部分为侵入相(老)

资料来源：Walker R R 和 Mannard G W，1974。

露有集块岩，到矿体附近主要是火山砾岩和火山砾凝灰岩。碳质层是一个与沉积作用有密切关系的岩层。产于 2 号矿带块状矿石所属地层的顶部或其附近，与矿石紧密共生。该层的特点是颜色很黑，这是因为含有均质的碳质物质所造成，碳质物含量不等，局部可超过岩石的 10%。碳质层包括从碳质的泥岩或板岩到碳质燧石以及成分复杂的火山碎屑

黄金地质研究所
信息室 提供

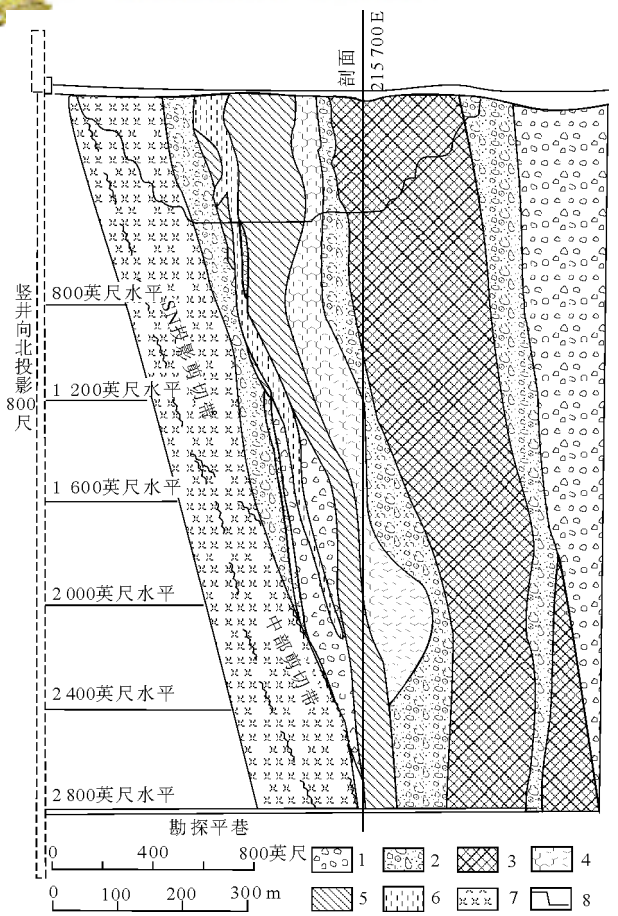


图 2 加拿大基德克里克矿床地质剖面图（据 Walker R R 等，1974）

1—大部分为蚀变超基性岩；2—流纹质火山碎屑岩；3—块状流纹岩；4—细脉状黄铜矿矿石；5—块状、带状角砾状矿石；6—碳质、泥质层；7—安山岩-闪长岩；8—露采场边界

岩。这种火山碎屑岩含有流纹岩、闪锌矿、黄铁矿、燧石、泥岩、英安岩和石英斑岩碎屑的各种混合物，其基质一般为绿泥石和碳质物。

块状流纹岩呈不规则到大致整合的岩层，产于流纹质火山碎屑岩中。块状流纹岩层既包含有硅化的和重结晶的火山碎屑物，又包含有直接来源于岩浆的流带状物质。在露采场以东风化了的露头上，可见到块状流带状流纹岩似乎侵入到流纹碎屑岩中。块状流纹岩含有少量石英和钠斜长石斑晶（1 mm），它们镶嵌在重结晶的石英和长石组成的微晶镶嵌结构中，并且与流纹质火山碎屑岩中的某些碎屑物极其相似。

石英斑岩是填图时定的名称，以区别其他的斑晶少的流纹岩质容矿岩石。石英斑岩覆盖在流纹质火山碎屑岩之上，为浅绿色石英斑状流纹岩和长石斑状流纹岩。石英和钠长石的自形到半自形斑晶（直径 1～4 mm）在石英斑岩中占 1%～25%，长石斑晶一般肉眼看不清楚。基质是一种微晶质的硅质镶嵌物。由于含大量次生绿泥石和绢云母，此类岩石大部分呈片状出现。

英安岩系也是矿区填图时定的名称，实质上是玄武质或安山质火山岩系，覆盖在长英质火山岩堆的流纹岩和石英斑岩岩层之上。英安岩一般为灰色到绿灰色，隐晶质，呈薄的块状岩流和枕状岩层（仅略具杏仁构造）产出。岩流之间的岩层一般为厚达 30 英尺的泥质到燧石质、碳质沉积层。岩流之间的沉积物的特点是含有球粒状和纹层状磁黄铁矿，偶而也含微量黄铜矿。有些沉积层也含有流纹质火山碎屑岩薄层或由英安岩物质组成的杂砂岩薄层。英安岩已不同程度地角砾岩化，在有些地方，英安岩火山碎屑岩构成了剖面的重要部分。

安山岩-闪长岩为暗绿到灰色，由具辉绿结构的镁铁质岩石组成。在露天采矿场范围内的 3 个最大岩体被认为是侵入的。侵入时间可能晚于最初的形变期，因为它的时代明显地晚于 SN 向剪切带。安山岩-闪长岩岩层都已变质，其变质程度与围岩相同。

蚀变超基性岩主要为蛇纹岩和滑石-碳酸盐岩，紧靠长英质火山岩堆的东侧产出。这些岩石主要分布在一个长约 4 000 英尺、宽约 3 500 英尺的地区内，其中也有一些长英质和镁铁质火山岩的薄层，这说明超基性岩可能是一套喷出岩系的一部分。

基德克里克矿床所有岩石均已变质成中级和中、低级绿片岩相的共生组合，镁铁质火山岩和侵入岩的成分为玄武岩或安山岩，现在由包括黝帘石-绿帘石、绿泥石、透闪石-阳起石、钠长石、滑石、碳酸岩、石英、榍石和黑云母在内的矿物组合组成。矿区见有叠覆的片理，证明此矿区可能受到过不止一期动热变质作用的影响。长英质火山岩受到广泛的变质和蚀变作用，明显的蚀变矿物有绿泥石、绢云母、石英和碳酸岩，还有一些钠长石、电气石、萤石和黑云母等。

2.2 构 造

矿区本身已经过强烈和不均匀的变形，这反映在它具有各种规模的复成变形体上，这些变形体大者宽达 1 英里以上，小者仅在镜下可见。

露采坑内长英质岩堆总的走向为 NNE，倾斜倒转，一般倾向 E，倾角为 70～80°。含矿流纹岩层局部变厚，其总走向受褶皱影响，褶皱轴向东陡倾，轴面走向 EW—SE，倾向 N，倾角 75～80°。许多流纹岩、石英斑岩和碳质岩的特征是它们具有多种不同方向的片理。在同一个地方同时可见多达

黄金地质研究所
信息室 提供

3 种重叠的片理，其中至少有 2 种似乎是区域性的，而且与褶皱作用的重叠期有关。发育最好的片理走向 NW，倾向 NE，倾角 75°；较次要的片理走向 EW，倾向 N，倾角约 80°；发育较差的第三种片理，走向为 SSE—SN 向，向 E 陡倾。

区内有 SN 向剪切带。在蚀变的“石英斑岩”之中或沿“石英斑岩”与流纹岩接触带产出，该剪切带为一厚达 60 英尺的片理带。还有一条中部剪切带与其相似，是一条宽达 100 英尺的片理化带。

晚期（变质期后和褶皱期后）脆性变形表现为一组共轭冲断节理和伴生的近乎水平的张断裂，冲断节理倾向 N 和 S，倾角约 30°，断距可达 1.5 英尺，大型冲断节理中夹有断层泥薄层，其厚可达 2 英寸。

2.3 矿 体

基德克里克矿床的矿体根据空间的位置可分为两大部分：北部矿体和南部矿体，有一条中部剪切带横隔其间。根据不同的空间位置、构造、容矿岩石及矿石类型的综合情况，还可进一步分为 5 个大的矿带。

北部矿体倾向 E，倾角约为 80°，向 NE 倾伏，倾伏角为 75°，并被认为是倒转的。根据矿石类型可分为 2 个矿带。1 号矿带从地层层位来说相当于北部矿体底层，它由细脉状黄铜矿组成；2 号矿带由块状、带状、层状和碎屑状矿石组成，为含黄铁矿最多的矿带，黄铁矿平均约占 55%，围岩占 25%，而含黄铜矿极少。

南部矿体，可分为 3，4，5 号矿带。3 号矿带走向 SN—NE，倾向 E，倾角约 70°，并且与北部矿体一样向 NE 陡倾伏。此矿带主要由块状闪锌矿、黄铁矿和黄铜矿组成，平均黄铁矿含量 10%～35%，容矿岩石占 15%～35%；4 号矿带的特点是具有带状黄铁矿、闪锌矿和黄铜矿，含黄铁矿 25%～45%，容矿岩石平均占 40%～60%，矿带呈透镜状夹在一层流纹质火山碎屑岩系中，这套地层含有块状流纹质杂砂岩和碳质粉砂岩及泥质透镜体（厚达数十英尺）。4 号矿带走向主要是 SEE，倾向 N，倾角约 80°。4 号矿带与 3，5 号矿带在空间上是相连的，而在 800 英尺水平以下就分开了；5 号矿带是一条带状黄铁矿、闪锌矿和黄铜矿矿化带，在空间上与 3 号矿带相连。5 号矿带中黄铁矿含量平均为 20%～40%，围岩平均占 45%～65%。

2.4 矿 石

基德克里克矿床矿石平均含黄铁矿 25%～30%，闪锌矿 15%，黄铜矿 5%，方铅矿 0.5%，磁黄铁矿＜1%。矿石平均含银 4.3 盎司/t（约 134 g）。已报道的金属矿物有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、斑铜矿、锡石、黄锡矿、蓝辉铜矿、辉铜矿、铜蓝、白铁矿、毒砂、自然银、螺状硫银矿、黝铜矿、砷黝铜矿、硫铜银矿、脆银矿、深红银矿、砷硫银矿、硒银矿、脆硫锑铜矿、锑银矿、硫钴矿、辉砷钴矿、硒铅矿、黑钨矿、钛铁矿和磁铁矿等。主要非金属矿物有石英、碳酸岩、钠长石、绿泥石、绢云母和电气石等。

基德克里克矿床的矿石可分为三大类，包括细脉状矿石，块状、带状和层状矿石，以及碎屑状或角砾状矿石，反映不同的成因模式。

细脉状矿石的容矿岩石为灰色流纹岩，其岩石中 SiO_2 含量一般为 75%～90%，偶尔可高达 97%。原生结构大都因硅化和重结晶作用已难识辨，但在某些地方能见到这种细脉状矿石的容矿岩石是分选相当好的火山砾岩。矿石中富含黄铜矿的细脉呈不规则状，许多地方矿化作用由细脉向外扩展交代了围岩。单个细脉一般宽不到 2 cm，但也有宽达数英尺的块状硫化物脉和透镜体。细脉中含黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿等，非金属矿物有绿泥石、石英、碳酸岩、绢云母、钠斜长石、电气石以及极少量萤石。

块状、带状和层状矿石，主要由黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和磁黄铁矿组成。此类矿石包括一些均匀的块状硫化物矿体，它们可由闪锌矿、黄铜矿或黄铁矿组成，也可由黄铁矿-闪锌矿、闪锌矿-黄铜矿、闪锌矿-黄铁矿-黄铜矿、黄铁矿-闪锌矿-方铅矿和闪锌矿-方铅矿呈带状混合组成。块状或带状硫化物层可与一些围岩岩层成互层产出，围岩一般为流纹质火山砾岩或火山砾凝灰岩，但也可能是集块岩、碳质泥岩、碳质燧石、碳质和泥质粉砂岩或流纹岩-石屑的杂砂岩。

碳质层中含有几种非常典型的沉积的层状硫化物。最常见的是薄层状到纹层状的闪锌矿、黄铁矿和碳质泥岩到碳质燧石。闪锌矿和黄铁矿可呈单独的纹层（一般小于 1 cm）或者闪锌矿-黄铁矿的复合纹层状，与碳质泥岩或泥质燧石成互层产出。

碎屑状或角砾状矿石是由黄铁矿、闪锌矿和混合的或条带状的黄铁矿-闪锌矿的碎屑物组成。此类矿石在碳质层中发育最好，或者与之共生，碳质层中硫化物碎屑按不同比例与流纹岩、泥岩、燧石和英安岩碎屑的各种组合混杂在一起。

2.5 矿床成因

基德克里克矿床属于与长英质火山岩共生的火

黄金地质研究所
信息室 提供

山成因块状硫化物矿床。它是此类重要矿床中的一个不大常见的大型富矿。矿床不整合地产于倒转、陡倾的流纹质火山碎屑岩堆顶部附近。黄铁矿和闪锌矿的块状硫化物矿石是在海底或接近海底处，大致与周围的火山岩及沉积物同时沉积的。细脉状或网脉状黄铜矿产在块状黄铁矿和闪锌矿硫化物下面。细脉状矿石代表了发生在不整合的似筒状蚀变带中的后成矿化，这些似筒状蚀变带标志着穿过火山岩而到达海底的一些喷气孔补给通道的位置。产于块状矿石顶部或附近地层的碳质层是属静水环境的沉积物，主要为化学沉积，某些黄铁矿以化学方式与燧石一起沉积下来，属于在火山作用的间歇期中形成的，成为矿床的一个标志层。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

葡萄牙内维斯—科尔沃锌-铜矿床

内维斯—科尔沃（Neves-Corvo）矿床位于欧洲伊比利亚黄铁矿带的葡萄牙境内。矿床是1977年5月发现并查明的深部隐伏矿床，为一个含锌-铅、铜、锡的黄铁矿型多金属矿床。

它的硫化物矿石储量超过6 500万t。其中铅、锌金属储量至少有224万t，铜至少有245万t，还有7万t锡。其矿床的具体储量和品位数据见表1。

表1 葡萄牙内维斯—科尔沃矿床矿石储量品位（1989年）

矿石种类	矿石储量 t	w(B)/% Cu	Pb	Zn	Sn
Cu	30 315 000	7.81	—	1.33	—
Sn和Cu	2 761 000	13.42	—	1.35	2.57
Zn+Pb	32 640 000	0.46	1.13	5.72	—

1 区域地质背景

内维斯—科尔沃矿床所在的伊比利亚黄铁矿带是欧洲最著名的成矿带之一，也是欧洲最古老的矿区之一，在该矿带上的采矿活动已有3 000多年的历史。该矿带在西班牙境内近EW向延伸，进入葡萄牙境内逐渐转向NW（图1）。矿带长230 km，平均宽35 km，面积约7 800 km^2。

矿带内已发现约300个不同规模的黄铁矿型矿床，其中达大型规模的矿床约有60个。就铅、锌来说，矿带内铅、锌储量达到100万t的大约有8个矿床（田），较大的有葡萄牙阿尔朱斯特莱尔矿田、内维斯—科尔沃，西班牙索提尔、洛斯弗赖莱

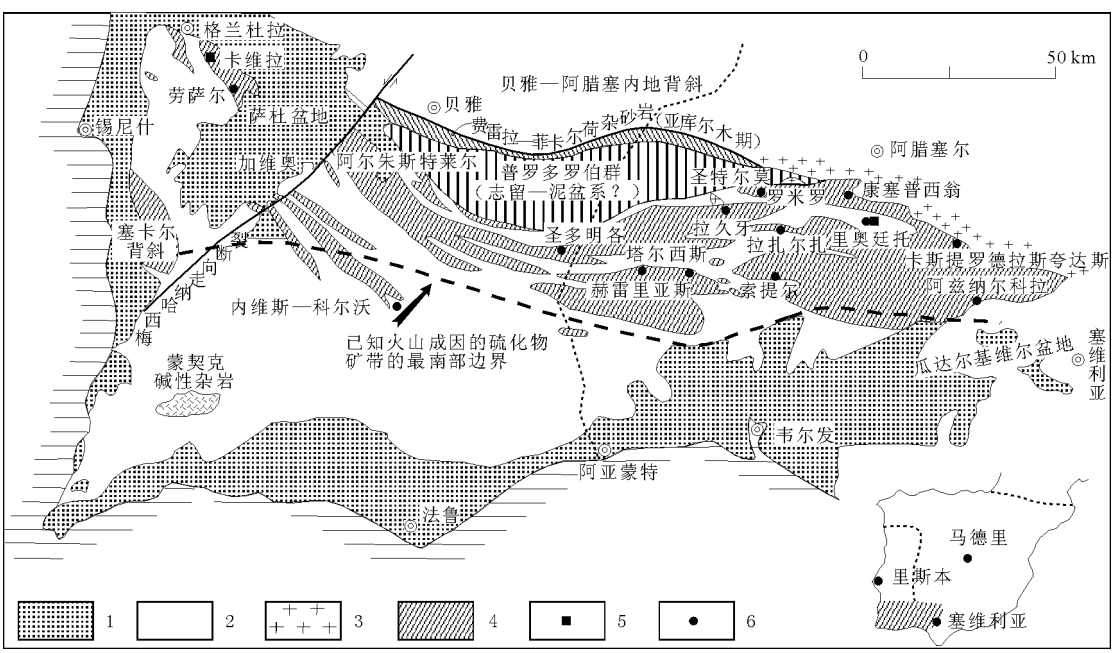


图1 伊比利亚黄铁矿带地质图（据斯特劳斯 G K，1977）

标有主要矿区的位置

1—古生代以后的沉积盖层（中生界—第四系）；2—库尔木群（上维宪阶—维士发阶）；3—华力西期花岗岩；4—火山-沉积杂岩（下石炭统），板岩—石英岩群（上泥盆统或更老的岩层）；5—以黄铁矿体为主的矿体；6—富含铜-锌的黄铁矿矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

斯和阿兹纳尔科拉等矿床。

伊比利亚黄铁矿带位于伊比利亚地块南部，属华力西优地槽褶皱带。晚古生代由陆缘拉张，形成了泥盆纪—石炭纪的地槽型火山-沉积岩系，其层序为上泥盆统板岩、石英岩，含少量砾岩及石灰岩，厚度超过 500 m。其上为下石炭统火山-沉积杂岩。由板岩、燧石、碧玉、杂砂岩、长英质和镁铁质火山岩组成，含黄铁矿矿层及锰矿，最厚可达 800 m。再往上被含上维宪阶动物化石的库尔木（Culm）统板岩及杂砂岩所覆盖，厚 500～1 000 m。

含矿火山杂岩以酸性火山岩为主，基性火山岩占次要地位，包括 3 个岩石序列，即下部称“主要酸性火山岩系”，由粗碎屑凝灰岩、流纹质集块岩、酸性熔岩组成，其底部产有一层厚度较小的玄武岩（“下玄武岩”）；中部称“过渡岩系”，由细碎屑酸性凝灰岩、黑色硅质页岩、含锰碧玉岩、杂砂岩等组成，其中夹 1 或 2 层玄武岩（“上玄武岩”），过渡岩系为矿带内的主要含矿层；上部称“次要酸性火山岩系”，主要为酸性玻屑凝灰岩组成，厚度小于 100 m。

据岩石化学成分和组成火山岩的长石为钠长石等特征认为，酸性火山岩主要属富钠或富钾的石英角斑岩及少量英安岩，属较典型的火山弧系列。

华力西碰撞造山，火山弧拼贴到伊比利亚地块之上，岩石遭受褶皱和浅变质。

矿床空间分布上受区域断裂和火山喷发中心的控制，作线状展布，并与区域构造线方向相吻合。矿床产在 2 个矿化层位：主矿层产于“过渡岩系”的底部，直接位于下伏酸性火山岩之上，次要矿层则赋存在很少有固定层位的黑色页岩中。

2 矿床地质特征

伊比利亚黄铁矿带内的矿床多属 Zn-Pb-Cu 型。矿床具有一些共同的特征：1）矿床产于古生界上泥盆统法门阶和下石炭统维宪阶之间；2）矿床沿深大断裂分布，矿化与海底爆发式酸性火山作用相联系，大多数矿床形成于喷气旋回的最后阶段，且限于喷发中心附近，直接产于火山碎屑岩之上；3）容矿岩石为火山岩与沉积岩的过渡岩系，下伏为火山岩，上覆为沉积岩，矿体与火山凝灰质、含铁碧玉和硅质岩石伴生；4）矿体呈透镜状，与地层整合产出；5）矿石主要为块状黄铁矿，黄铁矿在矿石中占 80%～95%，伴生金属以铜和锌为主；6）在块状矿体的底盘围岩中，局部有硫化物网状脉，顶部有时出现条带状硫化物矿石。

内维斯—科尔沃矿床产于以长英质为主的酸性凝灰岩层顶部的含火山质、硅质及细粒碎屑沉积物的混杂岩层中，矿床的这个产出部位与伊比利亚矿带其他矿床是一致的，是矿带中成矿的标志层。

内维斯—科尔沃矿床所赋存的火山-沉积岩系的底板是泥盆纪石英岩和片岩，顶板是石炭纪杂砂岩和片岩。自下而上，该岩系包括以下各建造：1）火山喷发岩建造，由基性逐渐过渡为酸性，酸性火山活动很重要，其最后一幕含矿；2）过渡岩石建造，这是一个逐渐向沉积建造过渡的岩石建造，顶部为一套绿片岩和紫色片岩，上覆一层厚度极其稳定的层凝灰岩层；3）静海相沉积岩建造，上覆岩层为库尔木统含杂砂岩的复理石层。

内维斯—科尔沃矿床集中产出在 5 km^2 范围内，有 4 个块状硫化物矿体，即内维斯（Neves）、科尔沃（Corvo）、格拉萨（Graca）和赞布雅尔（Zambujal），均为隐伏矿体，埋藏于地下 300～700 m。其中科尔沃和格拉萨以铜为主，内维斯以锌（铅）为主，而赞布雅尔为含锌（铅）的块状黄铁矿矿体。矿体的特征参数见表 2。

内维斯矿体是 4 个矿体中最大的一个。它又可分为南北 2 个矿段，一个位于下部火山-沉积岩的黑色绿泥石质页岩之上，另一个直接位于下部火山-沉积岩的熔岩或酸性凝灰岩之上。矿体的下伏岩层有时遭受强烈的热液蚀变，其间的网脉状和浸染状矿化具有绿泥石化和碳酸盐化等蚀变。

内维斯矿体以富含锌、铅，有时是铜的复杂矿石为其特征，这类矿石在南矿段与含铜矿石或含黄铁矿矿石呈互层产出，一般越往底部越富铜；在北

表 2 内维斯—科尔沃矿床中各矿体的特征参数

矿体名称	矿体规模/m					矿石储量/万 t	主要走向
	最大长度	最大宽度	最大厚度	最小埋深	最大延深		
内维斯	1 700	800	52	250	550	7 800	NNW
科尔沃	875	650	95	300	700	5 800	EW
格拉萨	800	700	85	250	400	3 500	EW
赞布雅尔	750	625	50	350	500	3 200	EW

黄金地质研究所
信息室 提供

矿段，有时在含铜的网状矿脉之上的块状矿石主要为含铜矿石和黄铁矿矿石。

科尔沃矿体是一个厚度约 100 m，被多个断层错开的矿体。在北部，该矿体位于一系列密集的网状矿脉之上，且富铜。块状硫化物矿石中含黄铜矿为主的矿层与含黄铁矿为主的矿层互层产出；矿体东缘富锌，南部与格拉萨矿体相接部位则变为极富铜和锡。科尔沃矿体不含铅。在矿体的顶部为一含镁和含铁的透镜状碳酸盐岩层。

格拉萨矿体的厚度与科尔沃矿体相同，但延伸长度不如科尔沃矿体。矿体断裂发育。矿石富含铜，但在几乎只是由黄铁矿构成的矿带之外，也出现若干含锌和含铅-锌透镜体。在铜带内含锡较多。

赞布雅尔矿体是矿区内最小的一个矿体。矿体形态极为复杂，略呈背斜状，其南翼遭一叠瓦状构造影响。含矿性也是 4 个矿体中最差的一个。以含黄铁矿矿石为主，有时也与含锌-铅的复杂矿石或少量含铜矿石互层。

内维斯—科尔沃矿区内矿石自下而上呈 4 种类型产出（图 2）。

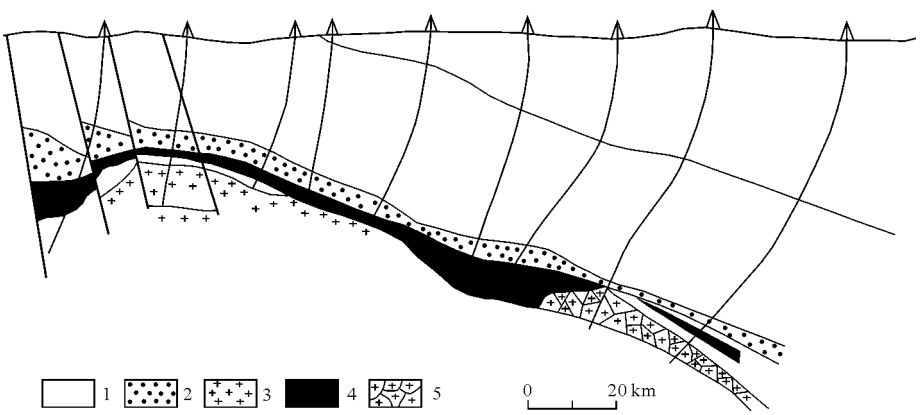


图 2　葡萄牙内维斯—科尔沃矿区综合剖面图（据甘肃省地矿局地质科学研究所，1994）

1—火山-硅质杂岩；2—细粒凝灰岩；3—酸性粗粒碎屑质凝灰岩；4—块状硫化物矿石；5—网脉状矿石

1）蚀变底板内的浸染状和细脉状矿石，底板岩石通常是下部火山-沉积岩的一种熔岩或凝灰岩，有时是硅质和绿泥石质页岩。底板遭受强烈的热液蚀变——绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化和硅化。热液蚀变及与之伴生的矿化可发育到块状矿体之下 100 m。矿石矿物主要是铁、铜硫化物及与热液蚀变伴生的少量氧化物，如锡石等。

2）具角砾状结构的块状矿石，这类矿石产在网脉型浸染状矿石之上，或者说是在下部火山-沉积岩的黑色绿泥石质页岩之上。它们构成块状硫化物矿体的底部。

有 2 类角砾状矿石：一是含有破碎的大颗粒黄铁矿晶体的角砾状矿石，胶结物是黄铜矿；另一类是含有条带状块状矿石碎屑的角砾状矿石，胶结物是颗粒更细的黄铁矿及黄铜矿。

在角砾或胶结物中，黄铜矿含量有时大于黄铁矿。也伴生有闪锌矿和少量方铅矿。偶而见到锡石和黄锡矿呈 40～200 μm 大小的晶体包于黄铜矿之内或发育在黄铜矿的边部。

这类具角砾状结构的块状矿石的特征是有时富含铜，贫锌和铅。

3）具条带状结构的块状矿石，这类矿石构成块状硫化物矿床的主体。矿石由黄铁矿和黄铜矿混合组成，也有细小的闪锌矿晶体存在于黄铁矿和黄铜矿内。方铅矿一般存在于闪锌矿之间，颗粒稍大。还含有黝铜矿、银矿物、毒砂、锡石、黄锡矿、锌黄锡矿、硫锡铁铜矿等。在这类矿石中还有零星分布的石英、碳酸岩和碳质物质组成的脉石等。

4）矿床顶板内的浸染状或层状矿石，这类矿石是一种具有沉积特征的化学沉积岩，是一种含绿泥石为主的碳质页岩，也是含有浸染状硫化物的蓝色碧玉或碳酸盐（白云石或铁白云岩）岩层。

内维斯—科尔沃矿床整个矿石层已变形、破碎和角砾岩化。块状矿石由以下矿物组成：黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、黄锡矿以及少量锡石组成。

矿床的矿化很具特征，化学成分上的特征：①极其富铜，其次富锌和铅；②锡含量较高；③含有硒和镉，也含钴和镍；④含有一些银，但贫金。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

黄金地质研究所
信息室 提供

南非甘斯堡（Gamsberg）锌矿床

南非开普省西北部有 2 个巨大的铅-锌矿床，即 1971 年发现的阿格尼斯（Aggeneys）矿床，有铅、锌储量 978 万 t，铅、锌品位 2.8%～6.6%，该矿床由 3 个矿体组成：黑山（Black Mountain）、布罗肯山（Broken Hill）和“大向斜”（Big Sym）。另一个大矿床，即 1973 年发现的甘斯堡锌矿床，位于阿格尼斯矿床以东不远处，有铅、锌储量 1 268 万 t，铅、锌品位 7.65%，是一个以锌为主的矿床，其锌品位大于 7%。

甘斯堡矿床所在地区是一个具有陡边的残山，长约 7 km，宽 5 km，海拔 1 150 m，比周围平原高出 250 m。残山部分已被剥蚀形成一个内部盆地，在剥蚀盆地的内边缘，该矿床呈一个大铁帽出露。

1 区域地质背景

甘斯堡锌矿床位于南非开普省西北部的纳马奎兰德（Namaqualand）地区，矿床赋存在前寒武纪火山沉积岩系——布什曼兰德（Bushmanland）群岩系内，该群岩系位于纳马奎（Namaqua）活动带中，已受到多阶段变形和变质作用。

区内分布的主要有布什曼兰德群的最下部地层——阿格尼斯（Aggeneys）亚群，厚达 1 500 m，可分为 4 个组，由下往上为纳米斯（Namies）片岩组、佐尔瓦特石英岩组、甘姆斯组和努奎斯镁铁质片麻岩组（表 1）。

甘姆斯组也称甘姆斯铁建造，甘斯堡矿床主要赋存在该组。石英卵石和铁建造卵石砾岩覆盖在石英岩和甘姆斯组之上，表明在该组顶部存在一个不整合或间断，该间断反映区内有中等程度的上升运动和中—深到浅海沉积的变化。

表 1 甘斯堡矿区地层

地 层	名 称	岩 性
霍戈尔岩套		粉红色石英-长石片麻岩、局部有条带状和灰色斑状变晶石英-长石质麻粒岩
阿格尼斯亚群	努奎斯镁铁质片麻岩组	角闪岩、石英-长石-角闪片麻岩、斜辉石-斜长岩-石英块状变质岩，含云母石英岩夹层，长石质石英岩，石英卵石和铁建造卵石砾岩
	甘姆斯组	C 岩段为含分散的石榴子石、蔷薇辉石-硅灰石类、斜辉石、正辉石、角闪石、石英、磷灰石碳酸盐、磁铁矿、赤铁矿和重晶石的岩石 B 岩段为硫化物带：石英-石榴子石-角闪石岩，石墨质石英-夕线石-白云母-长石质岩，含大量闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿及少量方铅矿 A 岩段为分散的石英-长石-石榴子石-斜辉石岩、石榴子石-斜辉石-长石大理岩和石榴子石-斜辉石-石英-磁铁矿岩石
	佐尔瓦特石英岩组	石英岩、石英-黑云母-白云母-夕线石片岩、石英-白云母片岩、暗色石英岩，顶部有砾岩岩层
	纳米斯片岩组	石英-黑云母-白云母-夕线石片岩

资料来源：李上森等，1989

甘姆斯组在地表只分布于甘斯堡剥蚀盆地的内部边缘（图 1），向下延伸沿走向超过 14 km。甘姆斯组自下而上可分为 A，B，C 三个岩段。

经研究表明，该区火山-沉积岩已遭受了 5 次变形和 2 个等斜褶皱的重叠，形成一个大型盆地形的构造，该构造被认为是甘斯堡剥蚀盆地。在这个向斜状构造中普遍存在阿格尼斯亚群，地层发生了倒转。

区内断裂发育，同沉积期断层复活，在甘姆斯组层序上部有砾岩层存在表明其构造活动性。

整个纳马奎兰德地区，被认为是与早期裂谷作用有联系的盆地火山沉积作用的产物，可以认为是 1 级盆地；矿化的阿格尼斯地区（直径 20 km 左右）被认为是一个 2 级盆地；而甘斯堡矿床所在地属于 3 级盆地。

2 矿床特征

根据该区矿化分布特征，甘斯堡矿床可以分为 1）北矿体，是铅-锌矿化的主要矿带；2）南矿体，沿着盆地的南部边缘产出；3）倒转翼的矿体。

矿床具有明显的层控特征。矿体呈层状、透镜状，产在甘姆斯组的 B 岩段，主要为矿化的石英-夕线石-白云母±长石片岩（B_1）和矿化的石英-石榴子石-角闪石块状变质岩（B_2）。在矿体的顶底板

黄金地质研究所
信息室 提供

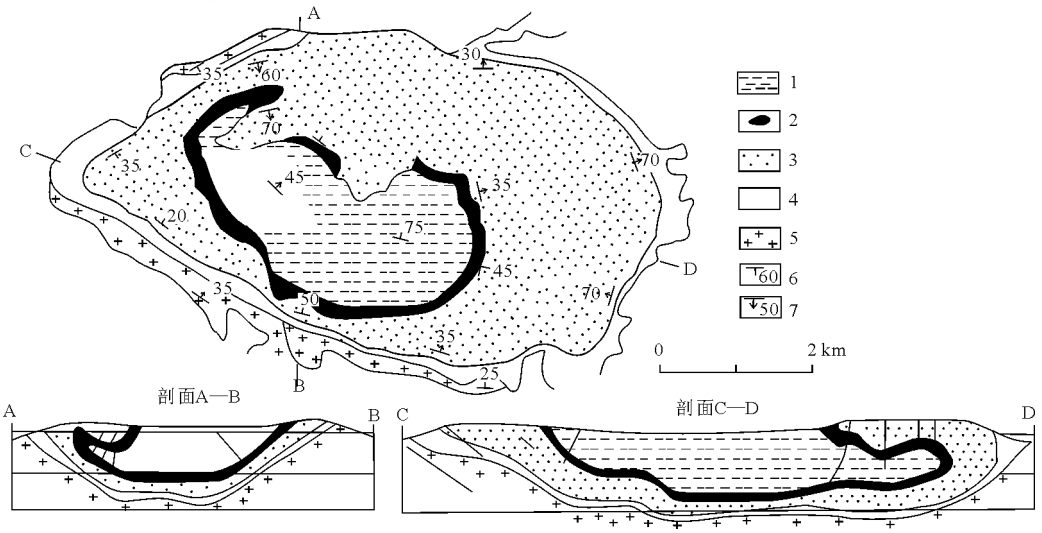


图 1　南非甘斯堡综合地质图（据李上森等，1989）

1—努奎斯镁铁质片麻岩；2—甘姆斯组；3—佐尔瓦特石英岩；4—纳米斯片岩；5—哈拉莫普片麻岩；6—叶理；7—层理

有锰值含量高的锰晕圈存在，这是甘斯堡矿化环境的最显著特征，除了石榴子石含锰外，其他硅酸盐矿物，如橄榄石、正辉石、斜辉石、角闪石和蔷薇辉石-硅灰石类，也含有重要数量的锰。

黄铁矿是 B_1 层下部的主要矿物，磁黄铁矿产在 B_2 层中，在甘斯堡，硫逸度（f_{S_2}）的总趋势是在地层层序中由下往上减少，磁铁矿和赤铁矿产在层序的最上部，这是氧化环境的标志。在甘姆斯组存在重晶石和石墨。重晶石被认为是许多海底喷气层控贱金属矿床的一种经常出现的组分。石墨常作为富黄铁矿矿石必不可少的成分出现，但在含磁铁矿或赤铁矿的矿层中是缺失的。石墨与黄铁矿共生支持这样的论点，它是沉积的有机碳，原为海底微生物的一部分，掺和到沉积物中。矿液具强烈的还原性质，使原有的生物成因碳得以保存。

矿床中矿物垂直分带明显，主要硫化物黄铁矿产在矿体的下部（B_1），磁黄铁矿产在矿体的上部，磁黄铁矿＋赤铁矿＋重晶石产在 C 岩段中。这与原始沉积盆地深度和 f_{S_2} 的逐渐减少而氧化作用加强是一致的。

矿床中主要金属矿物为闪锌矿，它集中在 B 岩段，最高品位在 B_2 层的上部。闪锌矿主要为铁闪锌矿和含锰的闪锌矿。

甘斯堡矿床和阿格尼斯矿床均是早期裂谷有关的 3 级盆地群中形成的，矿体（B_1）下部富石墨部分是在浅水（300～500 m）的还原条件下沉积形成的。矿床顶部的重晶石-赤铁矿-磁铁矿层是在氧化条件下的浅水中形成的。在阿格尼斯矿床，见到了富硫化物岩石被富铁的化学沉积物所包围，认为这些矿床是同生的，是海底喷气作用形成的。与红海型早期裂谷有关的热液系统，供应了形成纳马奎兰德大型贱金属矿床的含金属溶液（卤水），卤水的氧逸度 10^{-40}～10^{-50}，矿石沉积期间的温度为 300～100 ℃。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

甘肃小铁山铅-锌矿床

小铁山铅-锌矿床位于甘肃省白银厂矿田东部，大地构造位置属祁连山褶皱带。本区在下古生代属地槽区，沉积寒武—奥陶纪灰岩、泥岩、砂砾岩，并形成大量火山岩系。白银厂火山岩系是一条狭长的火山岩带，呈 EW 向展布。以安山岩为主，流纹岩、英安岩局部出现。矿床产在岩性复杂，特别是有流纹岩、英安岩发育的地段。白银厂矿田是一个单斜构造，地层走向 305～310°，倾向 SW，倾角 60～70°。随深度变陡，倾角可达 80°，甚至直立倒转。火山岩和矿体都受到区域变质作用影响，形成板岩、片岩、千枚岩、变质火山岩，金属矿物重结晶等。矿田中小铁山矿床赋存在变质海相火山岩内，矿体上盘是绿泥石片岩、千枚岩，下盘是石英纳长斑岩，矿体赋存在石英角斑凝灰岩中，呈似层状、透镜状，产状与围岩一致并同步褶皱。深部变陡达 70°以上至反倾斜（图 1）。

黄金地质研究所
信息室 提供

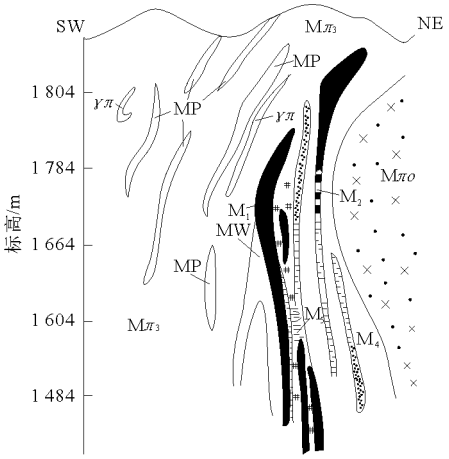


图 1 小铁山矿床Ⅶ线地质剖面示意图（西北冶勘第六地质队，1965）

M_1—块状 Cu-Pb-Zu 矿石；M_2—块状含 Cu 黄铁矿矿石；M_4—浸染状 Pb-Zn 矿石；M_5—浸染状 Cu 矿石；MW—绿泥石片岩；MP—凝灰质千枚岩；γπ—花岗斑岩；Mπo—石英钠长斑岩；$M\pi_3$—石英角斑凝灰岩

矿体呈雁行和串珠状排列，矿体之间经常有绿泥石片岩夹层。全区矿体十多个，但矿体之间或贫矿与富矿之间一般都是渐变关系。按矿石物质组成可将矿体划分 3 种：一是含铜黄铁矿矿体或黄铁矿矿体；二是块状铜-铅-锌矿体。前者规模较大，后者往往是前者中的一部分；三是浸染状铅-锌矿体或铜矿体，它与前两者也是过渡关系。矿石结构、构造主要为细粒条带状、致密浸染状、块状等。主要矿物是黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、石英、绿泥石、晚期石膏等。除 Pb，Zn，Cu 主要成矿元素以外，Ag 的含量也较高。矿床 Pb/Zn＝1∶1.5～1∶2。

矿床早期流体的盐度值为 12.5%～23%，晚期流体盐度降低，从 6.5%～0.5%。

摘自《中国矿床》

新疆阿巴宫铅-锌-铁矿床

新疆阿巴宫铅-锌-铁矿区位于阿勒泰市东南约 25 km 处，产于克兰（或称阿勒泰）火山-沉积盆地中，西起喇嘛昭，东至穷吉特，长约 12 km。包括阿巴宫铅-锌矿，即 A—4 异常区及其 NW，SE 方向沿 F_1 断裂断续分布的 A—2，A—3，A—5 和 A—6 异常区（铅-锌矿点）。1961 年及 1986—1987 年新疆地矿局第四地质大队对阿巴宫铅-锌矿 A—4 异常区进行普查评价，探获储量：铅 15.8 万 t，锌 15.3 万 t，伴生铜 0.9 万 t，银 368 t。

矿区出露地层主要为下泥盆统康布铁堡组，矿区西北及东北分布有少量中上志留统库鲁姆提群的陆缘碎屑沉积岩，矿区以南为中泥盆统阿勒泰组（图 1）。

矿区位于阿勒泰复向斜的 NE 翼，为一倒转单斜地层。断裂主要为阿巴宫大断裂，表现为一组 NW 向断层。

阿巴宫地区火山-沉积岩系呈 NW 向展布，厚度大于 1 800 m。以长英质火山岩为主，具有富 Si，Na，贫 Ca，Mg 特征。矿区附近侵入岩主要有与火山作用有关的中—浅成侵入体。其中次火山微晶花岗岩，产出在阿巴宫铅-锌矿南部附近第二岩性段的角砾熔岩与火山角砾凝灰岩层之间，出露宽度 85～150 m，呈 NW 向延伸，与断裂方向一致；石英钠长斑岩侵位于火山-沉积岩的上部，呈岩墙状产出。矿区西端的康里康台岩株和矿区东端

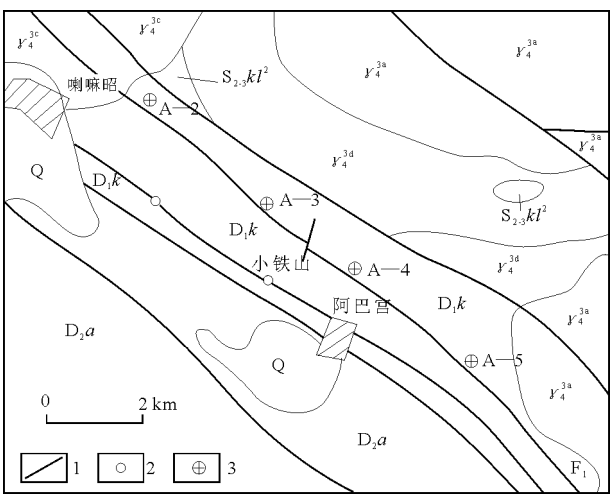


图 1 阿巴宫矿区地质略图（据刘瑛等，1991）

Q—第四系；D_2a—阿勒泰组变质泥岩、砂岩、千枚岩、凝灰岩及大理岩；D_1k—康布铁堡组变流纹岩、火山角砾岩、砂岩、大理岩、变石英角斑岩、凝灰岩、片岩；$S_{2-3}kl^2$—库姆鲁提群：变长石石英砂岩—砾岩、片岩、片麻岩、混合岩；γ_4^{3a}—二云母花岗岩、浅肉红色花岗岩；γ_4^{3c}—似斑状中粒黑云母花岗岩；γ_4^{3d}—混合花岗岩、片麻状黑云母花岗岩；1—断层；2—磁铁矿矿床；3—铅-锌矿床（矿点）

的克孜勒塔斯岩株，岩性均为斑状黑云母花岗岩。这些侵入岩类与火山岩一起，共同构成火山侵入杂岩组合。另有少量的中性、中基性脉岩产出。

阿巴宫矿床为铅-锌-铁综合矿床，铅-锌矿化位于微晶花岗岩的东北侧，铁矿化则位于岩体的西南

黄金地质研究所
信息室 提供

侧，构成南北 2 条矿化带。铅-锌矿（A—4）沿 F_1 断层分布，矿体产于康布铁堡组第二岩性段底部片麻状含砾凝灰岩夹变凝灰岩、黑云石英片岩和石英角斑岩角砾熔岩中，距微晶二长花岗岩接触带约 100 m。矿体中金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿及少量黄铜矿。非金属矿物主要有石英、斜长石、绢云母、黑云母、绿泥石、角闪石，深部矿石中见少量石榴子石、透辉石。成矿元素主要有 Fe，Pb，Zn，Cu，Ag，S 等。其中 Pb，Zn，Ag 具有工业价值。地表矿体铅含量 1.09%～6.11%，平均 2.13%；锌 0.1%～0.78%，平均 0.35%；铜 0.03%～0.24%，平均 0.05%；银 16.67×10^{-6}～80.63×10^{-6}，平均 56.88×10^{-6}。深部矿体铅含量 1.01%～2.63%，平均 1.69%；锌 2.80%～2.83%，平均 3.49%；铜 0.06%～0.10%，平均 0.09%；银 17.35×10^{-6}～67.54×10^{-6}，平均 42.45×10^{-6}。从地表到深部铅、银含量降低，锌、铜含量增高。

在阿巴宫铅-锌矿（A—4）外围，还有 A—2，A—3，A—5 等铅-锌矿化段，均沿 F_1 断裂分布，其矿化特征与 A—4 相同，是阿巴宫铅-锌矿化带的重要组成部分。

北带的铅-锌矿体中 2 个方铅矿的铅同位素组成分别为 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 18.010 和 17.994；$^{207}Pb/^{204}Pb$ 15.555，15.535；$^{208}Pb/^{204}Pb$ 37.857，37.800，属正常铅。根据 Doe 模式计算铅模式年龄为 385 和 390 Ma。

ΣREE 为 83.83×10^{-6}～397.81×10^{-6}，LREE/HREE 值为 6.42～16.53，δEu 值为 0.43～1.02。

摘自《中国新疆铅锌矿床》

新疆阿克哈仁铅-锌矿床

阿克哈仁矿床位于麦兹向斜南翼中段，是可可塔勒矿带中萤石方铅矿型矿化的典型代表。矿化带长 2.5 km，宽 60～100 m，最宽处达 200 m，被巴拉额尔齐斯河分为东西 2 段，东段矿化较好。

矿床位于麦兹向斜南翼 B6Pb-Ag-Ba 综合异常区，产于康布铁堡组上亚组第三岩性段顶部（$D_1k_2^3$），可进一步分为 2 个次级的火山-沉积小旋回：早期为酸性火山熔岩→大理岩；晚期为酸性火山角砾岩→熔岩→大理岩夹钙质粉砂岩、云母片岩。铅（锌）矿化就产于晚期旋回顶部的铁锰大理岩和下伏火山角砾岩-熔岩中（图 1）。

矿区东段 0～30 线附近发育一火山活动中心，以火山角砾岩、集块岩和流纹岩穹隆为标志，此处火山岩厚度最大，向两翼厚度变小，而流纹岩穹隆顶部的沉积层最薄，局部地段流纹岩和阿勒泰组直接接触。

流纹岩穹隆在下部侵入火山角砾岩中，其内也包有角砾岩的捕虏体，向上则侵出地表形成熔岩流，为一次火山侵出体。其次，火山岩部分的岩性为流纹斑岩，斑晶主要为正长石，次为石英和黑云母，局部见聚斑结构，基质粒度 0.05～0.10 mm，主要为正长石、石英、钠更长石及少量黑云母。

矿区构造为一套向 NE 倾斜的单斜层。

矿区探明铅-锌远景储量 12.7 万 t。根据容矿岩性和产状的不同，可分为 2 个矿化相，即产于不纯大理岩中的层状矿化和产于下伏火山角砾岩-流

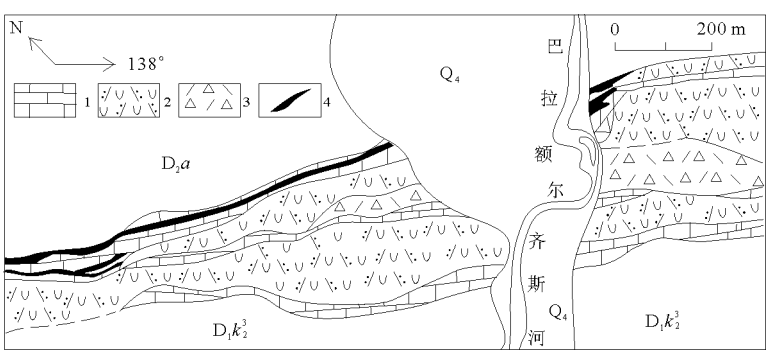


图 1　阿克哈仁铅-锌矿区地质略图

Q_4—第四系；D_2a—中泥盆统阿勒泰组；$D_1k_2^3$—下泥盆统康布铁堡组上亚组第三岩性段；1—不纯大理岩；2—变酸性熔岩；3—变火山角砾岩；4—铅-锌矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

纹斑岩中的细脉—细脉浸染状矿化。

产于不纯大理岩、黑云片岩中的层状矿化分布广，矿体呈似层状和透镜状，单个矿体长数十米至数百米，宽 1～10 m，侧向上与围岩渐变过渡，属萤石-重晶石-方铅矿组合。矿化具有多层性。具体表现形式有纹层状的重晶石方铅矿扁豆体和层内稀疏细脉状矿化，这种细脉状矿化仅限于层内，不具穿层性，无明显的围岩蚀变相伴。

细脉浸染状矿化相产于东段的蚀变火山角砾岩-流纹岩穹隆中，位于层状矿化之下。有 2 种矿化形式：变流纹岩和火山角砾岩中重晶石和方铅矿细脉带及萤石-重晶石-方铅矿脉，前者钻探和地表取样证明矿化不稳定，后者地表矿体规模小，工业价值不大；流纹斑岩中细脉浸染状方铅矿体为方解石-萤石-方铅矿-闪锌矿组合，地表为强烈的褐铁矿化、硅化带，长 200 m，最宽约 30 m，在 ZK12－3 孔中见视厚度 71.89 m，铅平均品位 1.58%（最高 7.59%）的工业矿体，矿体呈板柱状，是本区最主要的工业矿化类型。

在含方铅矿的萤石石英脉中，可见到气相、气液相、液相包裹体共存的现象，在气液相包裹体中含有金属矿物微粒。气液包裹体的气液比一般为 20%～45%，均一温度一般 180～320 ℃，平均 237 ℃（14 个测点），属中低温矿床的范围。

矿床的金属矿物主要是方铅矿，少量黄铁矿和闪锌矿，其他硫化物含量极少。非金属矿物为萤石、重晶石、石英和方解石。矿化以铅为主，平均品位 2.89%，锌 0.13%。伴生银和金，银最高 129×10^{-6}，一般 10×10^{-6} 左右；金最高 290×10^{-9}，一般 27×10^{-9}～109×10^{-9}。

围岩蚀变主要出现在流纹斑岩穹隆和角砾岩中，与细脉浸染状矿化相伴。蚀变类型有钾化（钾微斜长石化）、硅化，下部可能有钠化现象。蚀变具有较明显的分带，可分为细脉-网脉状、面型＋网脉型和块状 3 个蚀变带。

摘自《中国新疆铅锌矿床》

新疆铁米尔特铅-锌矿床

铁米尔特矿床位于阿勒泰市东约 10 km 处。1984—2002 年有色物探队和 706 队在该区开展地、物、化普查找矿工作，发现了铁米尔特铅-锌-多金属矿床。

矿区位于Ⅲ级构造单元——西伯利亚古板块阿尔泰陆源活动带克兰晚古生代火山弧内的阿勒泰复式向斜 NE 翼。矿区内出露古生界中上志留统库鲁姆特群（$S_{2-3}kl$），下泥盆统康布铁堡组（D_1k），中泥盆统阿勒泰组（D_2a）和第四系全新统（Q_4），区内断裂较为发育。铁米尔特多金属矿区受 NW 向阿巴宫大断裂控制，矿区的 F1，F2，F3，F38 等与阿巴宫断裂平行，可看成是阿巴宫断裂的组成部分，它们控制了本区的火山-沉积盆地及与之有关的矿化，为火山断陷期的同生断裂在造山期转化为向 SE 逆冲的推覆构造，并对矿床产生了一定的改造作用。矿区火山岩主要为酸性火山岩，具有高硅（SiO_2 71.80%～83.96%），高碱（K_2O+Na_2O 平均为 6.53%），$K_2O>Na_2O$ 的特征，仅在局部地区见有少量中性和基性火山岩。

康布铁堡组上亚组第二岩性段（$D_1k_b^2$）是矿区内金、铜、铅、锌的主要含矿层位（图 1）。该岩性段以正常的浅海相粘土质沉积和碳酸盐沉积为主，有少量的安山质—英安质—流纹质火山细碎屑

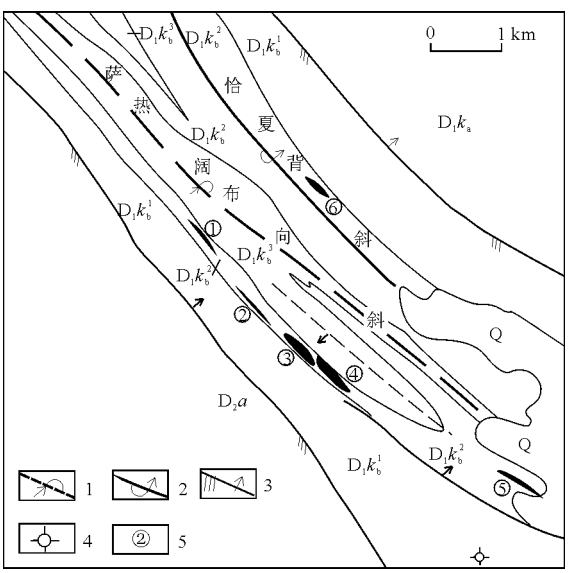


图 1 铁米尔特矿区地质图

Q—第四系；D_2a—中泥盆统阿勒泰组；$D_1k_b^3$，$D_1k_b^2$，$D_1k_b^1$—下泥盆统康布铁堡组上亚组第三，第二，第一岩性段；D_1k_a—下泥盆统康布铁堡组下亚组；1—倒转向斜；2—倒转背斜；3—断层；4—火山机构；5—矿床（矿点及）编号；①—萨热阔布金矿床 1 号矿体；②—萨热阔布金矿床 15 矿体；③—铁米尔特铅-锌矿床 4 号矿体（147 线）；④—铁米尔特铅-锌矿床 27 号矿体（139 线）；⑤—铁米尔特 1 号铜-铅-锌矿体（39 线）；⑥—恰夏铜矿

的混入，与上覆、下伏地层均为整合接触。铁、铜、铅、锌元素主要赋存于该岩性段中下部的钙质

黄金地质研究所
信息室 提供

砂岩层和大理岩层中，赋矿岩石为变钙质砂岩、大理岩、似夕卡岩；铁矿与似夕卡岩有较密切的关系；铅、锌产于变钙质砂岩、锰质大理岩中；铜多产于层内的变沉凝灰岩和绿泥片岩中。金的含矿层位于该岩性段中上部的绿泥石英片岩、绿泥片岩、变凝灰质砂岩、似夕卡岩、变钙质砂岩和变凝灰岩中。

萨热阔布复式向斜横贯矿区，北翼有恰夏复式背斜。矿区内容矿断裂多发育在区内含矿层—康布铁堡组上亚组第二岩性段内，控矿断裂多沿含矿层内的含铁质较多、钙锰质较多的岩层与变流纹质晶屑凝灰岩的接触界面等处发育，一般长几十米至千余米。

矿区内存在 3 个局部洼地：东部 39 线一带，中部 147 线带及 171 线以西的西部洼地。前 2 个洼地均是 Pb，Zn 赋矿较好的部位；西部（171 线以西）洼地则为 Au 的成矿区，即萨热阔布金矿。

铁米尔特矿床揭露出 Cu，Pb，Zn 矿体 23 个，矿化体 5 个，恰夏铜矿揭露出 10 余处铜矿体、矿化体。

金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿，偶见毒砂；非金属矿物有石英、透闪石、阳起石、石榴子石、角闪石、绿泥石、绿帘石、方解石、重晶石、萤石。矿石结构主要为自形—半自形、交代残余、镶边、叶片状等；主要为条带状、浸染状、块状、角砾状构造。矿物共生组合为方铅矿-闪锌矿-黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿；方铅矿-闪锌矿-黄铜矿-黄铁矿；方铅矿-闪锌矿-黄铁矿；方铅矿-闪锌矿；黄铜矿-黄铁矿；黄铜矿-磁铁矿。主要发育2种蚀变类型：矿层蚀变和矿下大型层控状蚀变。矿层蚀变范围较小，局限于矿（化）体附近，有硅化、黄铁矿化和矿层中岩屑晶屑凝灰岩的绿泥石化-绢云母化等；矿下大型层控状蚀变带有钠化带、钾化带和绿色蚀变带。硫同位素组成见表 1。铅同位素测定结果见表 2。

矿床属海底火山喷流沉积改造型块状硫化物型矿床。

表 1　铁米尔特矿床矿石硫同位素组成

样品号	采样位置	矿石类型	测试矿物	$\delta^{34}S/‰$
T87093	ZK39-3，71.9 m	致密块状铁-铜矿石	黄铜矿	−16.5
T88488	ZK39-3，81.6 m	致密块状铅-锌矿石	方铅矿	−23.2
T87525	ZK147-2，346.2 m	硫化物矿石	黄铁矿	−3.4
T807080	TC121	硅化灰岩及铅-锌矿化	方铅矿	−4
T88455	ZKI55-1，140.25 m	硅化铅-锌矿化	方铅矿	1.7
T87032	TC121	石英脉中铅-锌矿化	方铅矿	−7.9

表 2　岩浆岩和矿石的铅同位素组成

样品号	测定对象	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	μ值
T87032	方铅矿	17.951	15.454	37.590	8.819 7
T87080	方铅矿	18.101	15.480	37.777	8.922 5
T88455	方铅矿	17.959	15.476	37.610	8.858 9
T88488	方铅矿	17.950	15.480	37.615	8.867 4
T87071	流纹质晶屑凝灰熔岩	18.313	15.563	38.170	8.996 7
T87262	二长花岗斑岩	18.516	15.565	38.502	9.015 9
T87402	钾质流纹岩	18.338	15.567	38.195	9.001 6

黄金地质研究所
信息室 提供

河北北岔沟门铅-锌矿床

北岔沟门铅-锌-多金属矿床（图 1）是河北地勘局和地调院发现的一个具有大—超大型远景的矿床。矿床位于河北省隆化县境内，构造位置处于华北克拉通北部乌龙沟—上黄旗构造-岩浆岩亚带。

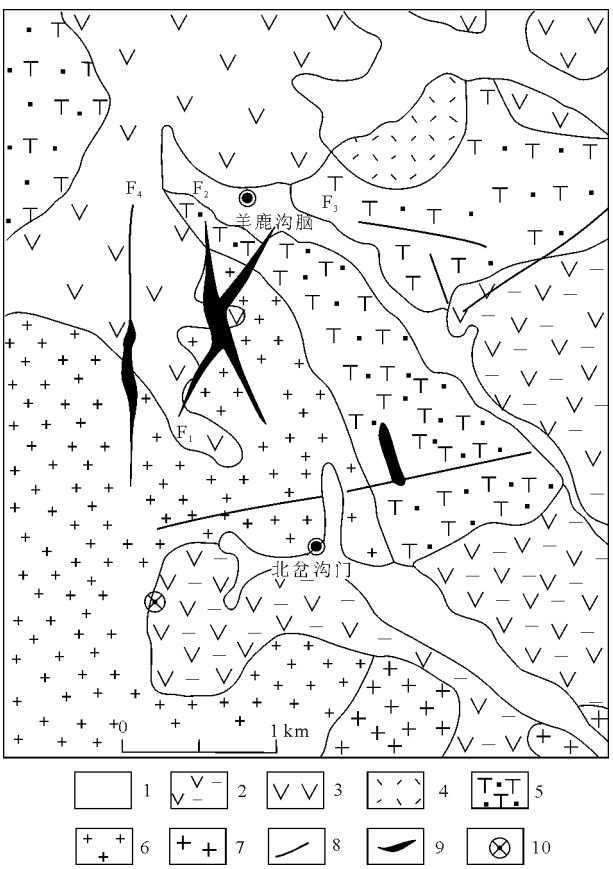


图 1　北岔沟门铅-锌矿床地质略图

1—第四纪松散沉积物；2—白垩纪火山-沉积岩；3—侏罗纪火山-沉积岩；4—白垩纪安山玢岩；5—白垩纪正长斑岩、石英正长斑岩；6—侏罗纪中细粒二长花岗斑岩；7—二叠纪中粗粒花岗岩；8—断层；9—矿体；10—取样位置

区内广泛出露侏罗纪—白垩纪火山-沉积地层，主要为一套陆相中—酸性和偏碱性火山岩建造以及河湖相碎屑岩建造。古元古界变质火山-沉积岩零星出露，第四系松散堆积物沿沟谷分布。构造位置为康保—围场、丰宁—隆化 EW 向深大断裂之间，乌龙沟—上黄旗大断裂斜贯本区。派生出一系列规模大小不一、性质各异，呈近 EW，NNE—NE，NW—NNW 向以及近 SN 向展布的次级断裂。主要断裂有 NE 向的 F_1 和 F_3 断层，NNW 向 F_2 断层和近 SN 向展布的 F_4 断层。不同规模的断裂控制了中生代岩浆和成矿作用。爆破角砾岩化是火山岩发育区常见的构造作用形式，本区广泛发育爆破角砾岩筒，是重要的容矿构造。岩浆侵入岩以古生代末以来的岩浆侵入活动最为发育。单颗粒锆石 U-Pb 同位素测年资料表明，中生代岩浆侵入活动可以划分成 3 个阶段：245 ～ 250 Ma，164 Ma 左右和 145 ～ 150 Ma。主要岩石类型有粗粒花岗岩、石英角闪二长岩、含钾长石石英稀斑花岗岩、细粒正长花岗岩、黑云石英二长岩、花岗闪长斑岩、黑云母闪长玢岩、不等粒二长花岗岩以及正长斑岩类和钠长斑岩等。

区内有多种矿化类型，不同类型矿化具有良好的分带性，已构成一较为完整的斑岩-浅成低温热液成矿系统。

爆破角砾岩型铅-锌矿体产于矿田中部的 D5，D7 号异常区，是区内发现的主要矿化类型。矿体主要产于印支—燕山期花岗岩复式岩体和中生代火山岩的接触带，赋矿围岩为由隐爆花岗岩为主构成的角砾岩，矿化呈脉状、细脉浸染状、浸染状多金属硫化物产出。主要矿体有 5 个，长 160 ～ 510 m，平均厚 22 ～38 m，已控制斜深 157 ～ 250 m。矿石铅品位最高 15%，平均 1.16% ～ 1.77%；锌品位最高 14%，平均 1.8 % ～ 2.5%；银品位最高 305×10^{-6}，平均 14×10^{-6}～ 19×10^{-6}。

主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿。非金属矿物有石英、绢云母、高岭石、绿泥石、绿帘石等。围岩蚀变主要有硅化、高岭土化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化等。

斑岩型钼矿体见于矿区西南部 D2 号异常区，是一个隐伏矿体。与潜火山岩浆活动有关的细脉浸染型铜-多金属矿体，位于海拔相对较低的沟谷内或为深部隐伏矿体，形成深度较大，是介于斑岩型矿化和爆破角砾岩型矿化之间的一种矿化类型。爆破角砾岩型铅-锌矿床产于矿田中部的 D5，D7 号异常区，是区内主要矿化类型。矿体主要产于印支—燕山期花岗岩复式岩体和中生代火山岩的接触带。高硫型浅成热液矿体呈脉状和细脉浸染状产于上侏罗统火山角砾岩中。低硫型浅成低温热液矿体产于矿田的北部和南部地区，如孙家营银-多金属、二道窝铺村南硅化铁-锰矿化破碎带、老伙房一带的矿化蚀变带。

黄金地质研究所
信息室 提供

紧邻矿带（体）的围岩都遭受了强烈的蚀变交代作用，主要有黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化及硅化、高岭土化、钾长石化等。

硫同位素分析结果见表 1。11 件矿石样品的单矿物铅同位素分析结果见表 2。矿石中石英单矿物氢氧同位素分析结果见表 3。

表 1　金属矿物硫同位素组成

序号	样 号	矿 体	矿石类型	矿 物	$\delta^{34}S$/‰
1	By97046	Ⅳ－1	铅-锌-银矿石	黄铁矿	3.1
2	By98045	Ⅴ－1	铅-锌矿石	黄铁矿	5.2
3	By98054	Ⅴ－1	铅-锌矿石	黄铁矿	4.8
4	By97132	Ⅴ－1	铅-锌矿石	方铅矿	2.0
5	By98045	Ⅴ－3	铅-锌矿石	方铅矿	3.0
6	By98054	Ⅴ－1	铅-锌矿石	方铅矿	2.7
7	By97132	Ⅴ－2	铅-锌矿石	闪锌矿	2.5
8	By98054	Ⅴ－1	铅-锌矿石	闪锌矿	0.2
9	ZK201－1	钼矿体	辉钼矿矿石	黄铁矿	0.3
10	ZK201－2	钼矿体	辉钼矿矿石	黄铁矿	0.5
11	HB02－1	Ⅳ－1	铅-锌-银矿石	黄铁矿	5.7
12	HB02－1	Ⅳ－1	铅-锌-银矿石	方铅矿	2.3
14	HB03	硅 华	黄铁矿	黄铁矿	6.2

表 2　铅同位素组成

样品号	矿 体	矿 物	铅同位素		
			$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
By98062	硅质岩－黄铁矿	黄铁矿	17.352	15.625	37.982
By97046	Ⅳ－1	黄铁矿	17.038	15.414	37.468
HB02－1	Ⅳ－1	黄铁矿	17.040	15.435	37.288
By98054	Ⅴ－1	黄铁矿	16.998	15.227	37.292
By98054	Ⅴ－1	方铅矿	17.261	15.652	38.049
By97132	Ⅴ－2	方铅矿	17.067	15.429	37.425
By98045	Ⅴ－3	黄铁矿	16.879	15.344	37.144
By98045	Ⅴ－3	方铅矿	16.943	15.337	37.206
ZK202	钼矿体	黄铁矿	16.412	14.783	36.324
ZK201	钼矿体	黄铁矿	16.417	15.007	36.184
ZK202	钼矿体	黄铁矿	16.336	15.195	36.292

分析单位：中国地质科学院地质研究所。

表 3　矿石中石英的氢氧同位素组成

样品号	均一温度/℃	$\delta^{18}O_{石英}$/‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$/‰[1)]	δD_{H_2O}
By98254	268	4.4	－3.75	－92
By98256	255	4.1	－4.62	－111
By98257	310	2.1	－4.44	－103
By98259	231	7.2	－2.71	－101
HB02－1	210	10.5	－0.59	－74
HB02－2	210	11.8	0.71	－72
ZK202	380	10.2	5.67	－82

分析单位：中国地质科学院矿产资源研究所；1）据 Clayton，$1\,000 \cdot \ln\alpha_{石英-水} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$

福建黛溪铅-锌矿床

黛溪铅-锌矿床是华东地质勘查局继在尤溪梅仙取得重大找矿突破，发现梅仙大型铅-锌矿之后，找寻的又一处有希望的靶区，前人工作称谓洋地铅-锌矿床。黛溪铅-锌矿体数量多、规模大。初步估计地质远景储量有 20 余万 t。

福建省屏南县黛溪铅-锌（银）矿床位于东南沿海褶皱系中政和—大埔深断裂的东侧，屏南—梅林断陷带的 NE 段。该地区新元古代为优地槽，堆积了厚层火山沉积物及砂泥质沉积物。加里东运动使地层遭受褶皱、断裂作用，造成一系列 NE 向复式背向斜和若干大断裂。随之发生区域变质作用，形成绿片岩相变质岩层。晚泥盆世—中三叠世演变为准地台，抬升为陆地遭受剥蚀作用。晚三叠世—白垩纪及新生代地质阶段，成为环太平洋大陆边缘活动带的一部分。太平洋板块向欧亚板块俯冲，造成块断构造运动，形成了该区所在的屏南—梅林断裂坳陷带。区内火山活动频繁、强烈，大面积覆盖陆源碎屑岩和火山碎屑岩。

出露的地层为早震旦世变质岩系和中生代火山碎屑岩。早震旦世变质岩系，由龙北溪组绿片岩和迪口组片麻岩组成，呈孤立岛状零星分布（图 1）。迪口组岩性主要为眼球状黑云二长片麻岩和黑云斜长片麻岩，夹有少量石英云母片岩、黑云钾长片麻岩等，局部混合岩化。迪口组与上覆龙北溪组呈断层接触关系。龙北溪组岩性又分为上、中、下岩性段，缺失龙北溪组下段。

龙北溪组中段，岩性为石英云母片岩、长石石英片岩，夹有少量变粒岩和透镜状绿帘石片岩。底部含石墨云母片岩，岩石呈片状构造。龙北溪组上段岩性主要为石英绿帘石片岩。其上部以绿帘石透辉石片岩为主，夹有透镜状不纯大理岩，并伴有少量的石榴子石透辉石片岩及变粒岩。大理岩的两侧常夹有层状硅质条带与碳酸盐岩互层。其中硅化、绿帘石化、透辉石化的层位，是区内主要的赋矿部位。下部以石英绿帘石片岩、绿帘石石英片岩互层为特征，夹少量透辉石绿帘石片岩。岩石片理清楚，呈层纹条带状构造。岩层面多呈舒缓波状。

该区以区域浅变质作用为主，形成绿片岩相地

黄金地质研究所
信息室 提供

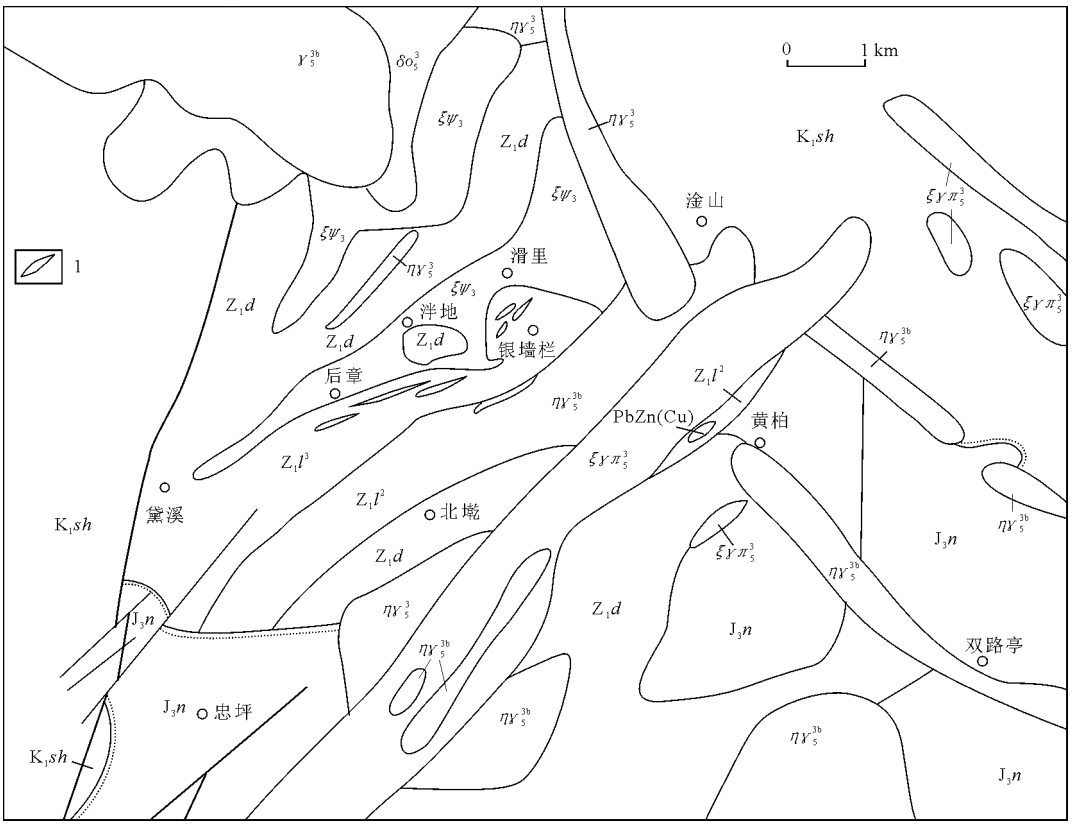


图 1　黛溪铅-锌矿床地质平面简图

K_1sh—石帽山群；J_3n—南园组；Z_1l^3—龙北溪组上段；Z_1l^2—龙北溪组中段；Z_1d—迪口组；$\xi\gamma\pi_5^3$—钾长花岗斑岩；γ_5^{3a}—花岗斑岩；γ_5^{3b}—花岗岩；$\eta\gamma_5^3$—二长花岗岩；δo_5^3—石英闪长岩；$\gamma\delta_5^3$—花岗闪长岩；$\xi\varphi_5$—角闪正长岩；1—矿体

层。龙北溪组绿片岩系的原岩属大陆型拉斑玄武岩或与碱性玄武岩间的过渡型玄武岩，其构造背景为大陆板块内部的裂谷环境。

基底变质岩的盖层为一套火山碎屑岩系，由上下层组成。

该区褶皱有后章倒转向斜和北墚倒转背斜，二者组成黛溪—滑里复式倒转向斜。断裂主要为 NNE（黛溪—樟源）、NE（忠洋—丹土丘洋、往里—石马）和 NW 向（往里—白玉、黄柏—双路亭）断裂。多为压扭性并伴有火山活动。NNE 向断裂发育较早；NE 向为主干断裂，多期次活动；NW 向较晚。矿体附近常有层间破裂带及羽状裂隙发育。

有 3 个期次的岩浆活动。加里东期为中偏碱性岩（角闪正长岩），呈岩枝状产出；燕山早期为酸性岩（花岗岩和二长花岗岩），呈岩株状产出；燕山晚期为中酸性岩，则以岩脉和岩株产出，规模最大。岩脉以 NE 和 NW 向伸展。

黛溪铅-锌（银）矿床，受绿片岩相的控制，产于龙北溪组上段中。在龙北溪组中段的少量透镜状绿片岩中也有部分铅-锌矿化体赋存，但规模较小，数量少且矿化强度低。

主要矿体产于后章—银墙栏，形成一条矿带，呈 50～70°展布。该矿化带长约 3.5 km，宽约 0.5 km。其中已发现和圈定矿体 28 条。长一般 50～250 m，最长 320 m，宽 2～4 m，最宽 11 m。矿体最大延深 200 m。多呈似层状、扁豆状及透镜状，尖灭再现、顺层产出特征，产状同围岩片理、层纹理一致。倾向 330～355°，倾角 50～65°。矿体受层位控制明显，与绿片岩相钙硅质层关系密切。

金属矿物主要为闪锌矿，次为方铅矿，另有少量的赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿，偶见辉铜矿。非金属矿物主要有绿帘石、透辉石；次为钙铁榴石、方解石、石英，少量阳起石、绿泥石、透闪石，局部含磷灰石。次生矿物有褐铁矿、软锰矿和铅钒等。

矿物的生成顺序大致为透辉石（钙铁榴石）→绿帘石（阳起石）→绿泥石→磷灰石（石榴子石）→磁铁矿→赤铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→闪锌矿（黄铜矿）→方铅矿→黄铜矿→石英（绿泥石）→方解石。

闪锌矿均一温度为 300～380 ℃；方铅矿爆裂

黄金地质研究所
信息室 提供

温度为250～263 ℃。硫同位素 $\delta^{34}S$ = −6.78‰～7.9‰。铅稳定同位素 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为18.34，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为15.825，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为38.7。铅同位素投影点落在造山带演化线上，μ 值较高。

矿石品位（Pb＋Zn）1.2%～6.8%，平均品位 Pb 1.648%，Zn 4.095%。Pb/Zn 一般为1∶2.0～1∶2.5。矿石中伴生有益组分银与方铅矿关系密切。银含量平均 50×10^{-6}～120×10^{-6}。另外，还含有 Cr，Ni，V，Co，Be，Y，Yb，Ga，Mo，Nb，Ba，Sn，W 等多种微量元素。其中前4种元素含量相对较高。

矿石主要有他形粒状变晶、半自形—他形微细粒变晶、交代结构，少量包含变晶、半自形鳞片变晶和土状变余结构，乳滴状以及中细粒结构。矿石构造常见条带状、层纹状、星点浸染状、团块状和细脉浸染状。方铅矿、闪锌矿沿片理聚集，与非金属矿物构成5～15 mm条带，相间平行排列，层纹状矿石中，细小的铅-锌矿物沿微层理分散状或密集产出，组成深色和浅色层纹，其宽度0.5～5 mm，多见于大理岩中。

围岩蚀变主要有透辉石化、绿帘石化。多见于石英片岩、绿帘石片岩和大理岩中，局部绿泥石化和硅化。

矿床赋矿层位系火山沉积建造。矿体无一例外地赋存在绿帘石透辉石片岩中，与钙硅质层关系密切，具有一定的赋矿层位。受岩层的控制，矿体产状和岩层片理一致，呈似层状、扁豆状及透镜状，无穿层现象。矿体的规模与绿片岩相带正相关。矿物组分简单，除方铅矿、闪锌矿外，其他金属矿物含量均较低，非金属矿物透辉石、绿帘石、石英和方解石等与近矿围岩矿物成分一致，二者无截然界线。近矿围岩中有残余结构，重结晶的自形粒状方解石与包含的方铅矿和他形闪锌矿相伴生，沿纹层理分布，表明铅-锌矿矿石物在原岩基底上经变质重结晶并保留在原处，具有同生特征，这些说明矿体与围岩具有相同的沉积生成环境。

在大多数矿石中，常见他形粒状变晶结构。重结晶矿物呈半自形—他形晶。在条带状大理岩中铅-锌矿物顺层理形成层纹，并随岩层同步褶曲变化。说明矿床与围岩一同经历了变质作用的改造。

该矿床属沉积-变质-热液（改造富集）的层控型矿床。

浙江大岭口铅-锌矿床

大岭口铅-锌矿床位于浙闽粤火山岩带的NE段，受大岭口破火山口构造及大岭口—山头郑近SN向断裂带的双重制约。区域燕山晚期岩浆活动强烈，火山侵入杂岩大规模产出，侵入岩属中酸性岩类，矿区西侧为山头郑石英闪长岩体，东侧为蒋家山—文庵石英二长岩体。火山岩广泛分布，主要岩性为陆相酸性火山碎屑岩、熔岩、次火山岩及沉积火山碎屑岩。近矿围岩有上侏罗统磨石山组c段（J_3m^c）和下白垩统朝川组（K_1c）晶屑玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩、流纹岩、凝灰质粉砂岩和砂砾岩及流纹斑岩、霏细斑岩。火山岩系的基底为前震旦纪的以黑云斜长（二长）片麻岩为主的变质岩系和晚二叠世至早三叠世的一套片岩、千枚岩为主的浅变质岩系。矿化作用可以分成5个阶段：含铜硫化物，含银硫化物，含银碳（硫）酸盐，金银玉髓和萤石化阶段。

矿床主要成矿阶段单矿物的氧同位素组成和其中包裹体水的氢同位素组成见表1（南京地矿所，1983；涂光炽，1987；魏元柏等；1988；徐晓春等，1996）。区域火山岩及山头郑石英闪长岩和蒋家山—文庵石英二长岩中的石英、长石、黑云母、角闪石氢或氧同位素组成测定结果见表2。

矿床的方铅矿铅同位素组成：$^{206}Pb/^{204}Pb$ = 17.09～18.96，$^{207}Pb/^{204}Pb$ = 15.350～15.637，

表1 大岭口矿床氢、氧同位素组成

成矿阶段	矿物	均一温度 ℃	$\delta^{18}O$/‰	δD_{H_2O}/‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$/‰
含铜硫化物	石英	307	10.8	(−101.0)	4.12
		319	9.7±0.5		3.46±0.5
		323	9.63	−75.7	3.48
含银硫化物	石英	304	8.15	−70.4	1.40
		298	9.66		2.70
		281	9.69		2.07
		264	11.35	−77.0	3.04
		264	11.47	−55.6	3.15
含银碳(硫)酸盐	石英	262	9.56	−67.4	1.15
	菱锰矿	220	8.60		−0.48
	菱锰矿	201	9.55		−0.44
	菱锰矿	170	10.9		−0.82
	菱锰矿	170	8.7		−3.21
	重晶石	200	−0.28		−6.43
	重晶石	206	−0.95		−6.76
金银玉髓	石英	161	11.05	−3.49	
	石英	161	10.00	−52.0	−2.44
	石英	160	7.95		−6.68
	玉髓	182	12.2	(−102.4)	−0.73

黄金地质研究所
信息室 提供

表 2 大岭口矿区区域火山侵入杂岩及其单矿物的氢、氧同位素组成

岩 性	$\delta^{18}O$/‰			δD/‰	
	WR	F	Q	Bi	Am
晶屑凝灰岩	8.14				
玻屑凝灰岩	9.28				
石英二长岩	7.67	5.42			−117.1
石英闪长岩	9.08	8.36	6.08	−78.6	−72.9

WR—全岩；F—长石；Q—石英；Bi—黑云母；Am—角闪石

$^{208}Pb/^{204}Pb$=38.37～41.65。含硫矿物的 $\delta^{34}S$ 值重晶石＞黄铁矿＞闪锌矿＞方铅矿。晚期金银玉髓阶段黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为−6.77‰。。早期含铜、含银硫化物阶段硫同位素组成 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ 为 4.58‰～5.22‰，中期含银硫酸盐阶段为 4.78‰～6.56‰。主要碳酸盐矿物是菱锰矿，$\delta^{13}C_{菱锰矿}$（P.D.B.）为−4.64‰～−6.13‰。含银碳（硫）酸盐阶段的温度为 200 ℃左右，$\lg f_{O_2}$ 为−40～−42.8。大岭口矿床为一受破火山口和断裂控制的热液脉状矿床。

福建牛路坑铅-锌矿床

矿区位于武夷山铜-多金属成矿带（Ⅲ）之闽中裂谷铜-多金属成矿亚带（Ⅳ$_3$）中，处于闽清上莲—井后铜-多金属找矿远景区内（Ⅴ−7）。处于闽东福安—平和 NE 向火山喷发带中段，福安—南靖大断裂带西侧。区内侏罗纪岩浆活动强烈，形成大面积的晚侏罗世火山熔岩和火山碎屑岩；NE 向展布的燕山早期胡厝岩体和东洋山岭兜岩体把矿区挟持其中。

矿区出露地层主要为上侏罗统长林组和南园组第三段，后者不整合覆盖于前者之上（图 1）。长林组分布于矿区西部，总体走向 NNE—NE，倾向 SE，局部倾向 NW，倾角 30～50°。主要岩性为粉砂岩、泥岩等。南园组第三段分布于矿区的大部分。总体走向 NNE，倾向 SE，倾角 10～20°。主要岩性为流纹质晶（玻）屑凝灰岩、流纹质晶屑玻屑凝灰岩、火山角砾岩、沉凝灰岩等，是矿体的赋矿层位。

矿区构造为近 SN 或 NNE 向，岩体及地层展布也均为近 SN 或 NNE 向。矿区与区域构造一致，地层倾向 E，倾角一般 20～30°。矿区构造以裂隙为主，呈近 SN，NNE，NE 向。裂隙倾向 E，倾角 70～80°，往往成群出现，构成宽几十米、长几百米的裂隙带。

矿区外围岩浆活动主要为燕山早期的岩浆侵入并零星见有喜马拉雅期基性岩瘤。燕山早期岩浆岩主要为胡厝岩体，位于矿区西北侧，呈岩基产出，主要岩性为黑云母二长花岗岩，矿区铅-锌矿体位于其外接触带附近；岭兜岩体位于矿区南东侧，呈岩株状的岩体沿 NE 向展布，岩性为花岗斑岩。另可见花岗斑岩呈脉状或小岩瘤状侵入于南园群赤水组之中。花岗斑岩中 Pb，Zn 元素含量较高，与成矿关系较为密切。

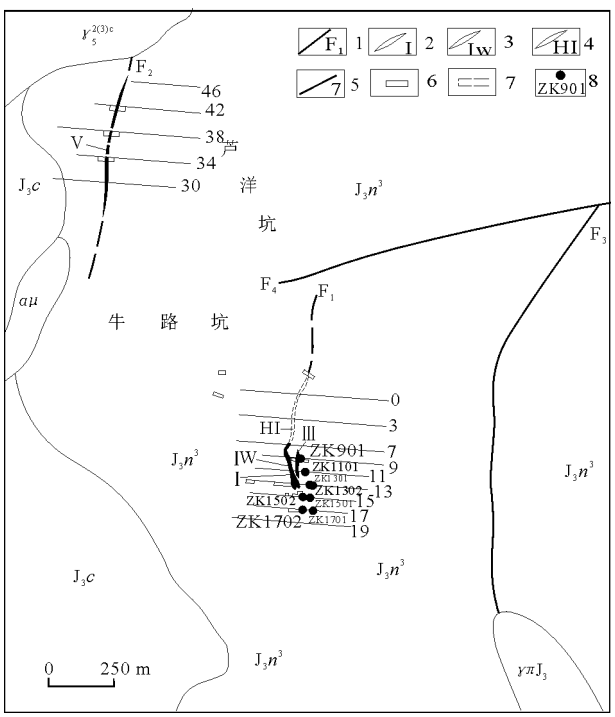


图 1 牛路坑矿区铅-锌矿床地质略图

J_3n^3—上侏罗统南园组第三段；J_3c—上侏罗统长林组；$\gamma_5^{2(3)c}$—燕山早期黑云母花岗岩；$\gamma\pi J_3$—晚侏罗世潜花岗斑岩；α_{μ}—安山玢岩脉；1—断层；2—矿体及编号；3—低品位矿体及编号；4—矿化带及编号；5—勘探线及编号；6—完工探槽；7—穿脉硐；8—完工钻孔及编号

矿区围岩蚀变受构造裂隙带所控制，主要分布于矿化集中部位。蚀变类型有绢云母化、硅化、绿泥石化、碳酸岩化、黄铁矿化等。其中与铅-锌矿化关系密切的有绢云母化、硅化、矿区西部及南部见有重砂、土壤、水系沉积物 3 种异常。闽清后场黄金重砂异常，面积 1.5 km^2，位于胡厝岩体与长林组凝灰熔岩接触带，与后场土壤、分散流异常重叠。闽清后场土壤 Pb 异常，面积 4 km^2，Pb 含量一般为 80×10^{-6}～200×10^{-6}。异常位于胡厝岩体

黄金地质研究所
信息室 提供

与长林组砂砾岩、凝灰熔岩、凝灰岩的接触带附近，并与后洋铅-锌矿点相吻合，部分与分散流 Pb 异常及重砂黄金异常重叠。闽清后场分散流 Pb 异常面积 1.8 km^2，Pb 含量一般为 200×10^{-6}～300×10^{-6}，最高 350×10^{-6}。异常位于岩体突出部位与长林组接触带，异常区内硅化较普遍，石英脉发育。异常东南部与后场重砂黄金异常部分重叠，土壤测量结果表明铅含量较高。在其上游发现后洋和牛路坑铅-锌矿点。

铅-锌矿体主要产于上侏罗统南园组第三段流纹质晶屑凝灰岩中，受近 SN 向裂隙带控制，矿体呈脉状或复脉状、透镜状。区内共圈定 3 个铅-锌矿体。

Ⅰ Pb-Zn 矿体，呈近 SN 走向，倾向 E，倾角 72～80°。受 SN 向张性断裂 F_1 控制，矿体赋存标高 895～995 m，相对高差 100 m，矿体埋深 0～100 m。矿体沿走向延伸长大于 200 m，沿倾向最大延伸 135 m，一般 80～110 m。单工程平均品位 Pb 1.17%～5.37%；Zn 1.33%～3.42%。单工程厚度 0.71～19.81 m，平均厚度 5.84 m。单样最高品位 Pb 29.6%，Zn 13.63%，Ag 764×10^{-6}。

Ⅱ Pb-Zn 矿体，与Ⅰ Pb-Zn 矿体近于平行，呈脉状产出。矿体沿走向延伸 200 m，沿倾向最大延伸 90 m，一般 50～80 m。矿体走向近 SN，倾向 E，倾角 60～85°。单工程平均品位 Pb 1.94%～3.76%；Zn 1.47%～5.48%。单工程厚度 0.21～14.78 m，平均厚度 3.52 m，矿体面积约 0.02 km^2。容矿岩石为流纹质晶屑凝灰岩。单样最高品位 Pb 10.81%，Zn 22.97%，Ag 372×10^{-6}。

Ⅲ Pb-Zn 矿体，呈透镜状，埋深 0～80 m。沿走向延伸 150 m，沿倾向最大延伸 75 m，一般 40～60 m。倾角 58～83°。单工程平均品位 Pb 1.56%～3.88%；Zn 1.45%～4.34%。单工程厚度 1.95～5.38 m，平均厚度 1.69 m。

HⅠ矿化体，分布于矿区 6～16 线，矿化体长度 300 m，宽 10～15 m，厚度为 4.8～6.00 m，走向近 SN，倾向 E，倾角 55～85°，平均品位 Pb 0.3%～0.5%，Zn 0.4%。

矿石主要为自形—半自形、他形粒状，交代结构，次为固溶体分离及碎裂结构。常见矿石构造主要有块状、浸染状、条带状及细脉状。矿石中主要金属矿物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主，次为磁黄铁矿、黄铜矿等。非金属矿物主要为石英、方解石、绿泥石、绢云母。矿区各矿体均埋藏于潜水面之下，氧化率均小于 8%，因此，矿石工业类型为单一铅-锌（银）多金属硫化物。

矿床成因类型应属中—低温裂隙带充填交代热液型铅-锌矿床。

加拿大不伦瑞克铅-锌矿床

不伦瑞克铅-锌矿位于巴瑟斯特西南约 19 km 处，铅、锌矿化呈浸染条带状。赋存在奥陶纪—志留纪凝灰角砾岩和长英质火山岩中。共发现矿体 25 个以上。矿体呈透镜状、似管状或似席状。其中 12 号矿体平面呈椭圆形，长轴 1 200 m，宽度 200 m，延深 1 400 m。不伦瑞克矿区保有储量：锌 526 万 t，铅 213 万 t，铜 17 万 t。矿石中含 Zn 9.2%，Pb 3.7%，Cu 0.3%，Ag 54×10^{-6}。矿区累计金属储量：Zn 1 608 万 t，Pb 273 万 t。矿石以闪锌矿、方铅矿和黄铁矿为主，少量黄铜矿和磁黄铁矿组成块状硫化物矿石。日产矿石 1.05 万 t，为世界大型铅-锌矿山之一。

摘自《国外主要有色金属矿产》

哈萨克斯坦列宁诺哥尔斯克铅-锌矿床

列宁诺哥尔斯克铅-锌矿床位于东哈萨克斯坦。矿床赋存在穹隆北部的晚古生代早期的火山岩系中（中泥盆世）。矿体形态复杂，上部为层状，透镜状，与围岩整合；下部呈网脉和细脉分布于围岩中。矿体垂深达 600 m 以下。矿床金属储量为锌 240 万 t，铅 143 万 t，银 4.8 万 t。矿石品位 Zn 7.0%，Pb 4.0%，Ag 137×10^{-6}。矿石为铅-锌-银硫化矿，以块状为主，次为网脉状。主要金属矿物方铅矿，闪锌矿和黄铁矿。矿山年产矿石 470 万 t，送到列宁诺哥尔斯克选厂浮选。

摘自《国外主要有色金属矿产》

黄金地质研究所
信息室 提供

澳大利亚伍德朗锌-铅-铜矿床

伍德朗锌-铅-铜矿位于古尔本西 50 km。矿体呈透镜状，赋存于中、上志留统次级褶皱带中，岩性为流纹质凝灰岩、酸性熔岩流夹黑色页岩层，为火山岩中的锌-铅-铜-多金属块状硫化物矿床。矿体长 300 m，厚 11～17 m。矿床金属储量：锌 864 万 t，铅 330 万 t，铜 102 万 t，矿石品位为 Zn 14.3%，Pb 5.5%，Cu 1.7%。矿区已开采多年，为露天和地下开采，矿山规模为日产矿石3 300 t。矿山寿命为 60 年，CRA 公司在继续向深部勘探。

摘自《国外主要有色金属矿产》

南非布罗肯希尔铅-锌-铜矿床

布罗肯希尔铅-锌-铜矿位于开普省的阿赫内斯北部，为新元古代的火山岩型矿床。由上下 2 个透镜状矿体组成，产于片岩、石英岩，片麻岩内，分布于同一向斜中，倾向 N，上陡下缓，沿走向长 400 m，宽 20～45 m，向下延深 500 m，上富下贫。矿床金属储量为铅 241.3 万 t，锌 109 万 t。铜 17.1 万 t，矿石品位为 Pb 6.35%，Zn 2.87%，Cu 0.45%。矿山用充填法地下开采。1984 年矿石产量 112.5 万 t，其中获铜精矿 1.7 万 t，锌精矿 3.5 万 t，铅精矿 13.2 万 t。

摘自《国外主要有色金属矿产》

南非普里斯卡锌-铜矿床

普里斯卡锌-铜矿位于波法德尔南，为新元古代的火山岩型矿床。透镜状矿体产于石英-长石片岩中，块状矿石产于上部，下部蚀变岩石内部为网脉状矿石。以块状锌、铜矿石为主，次为脉状。矿床储量：锌 182 万 t，铜 82 万 t，矿石品位 Zn 3.87%，Cu 1.74%。地下开采，1984 年产矿石 272.4 万 t。

摘自《国外主要有色金属矿产》

岛弧带上与火山喷发有关的（呷村式）块状硫化物重晶石铅-锌-银矿床模式

1 成矿构造背景

构造背景 该类型矿床主要产于“三江”地区。该区晚三叠世晚期甘孜—理塘古洋板块向西陡深俯冲，形成“张性岛弧”。后经历了挤压（隆升）—扩张（断陷）交替更迭的复杂演化历史，构成了典型的沟-弧-盆体系。板块的会聚、碰撞和挤压，演化成岛弧-碰撞带，而成矿作用主要发生在义敦岛弧带上。

大地构造位置 松潘—甘孜褶皱系玉树—义敦褶皱带。

2 产出地质环境

主要控矿构造 矿带和矿田受古张性岛弧及其间发育的岛弧裂谷带控制。矿床和矿群受岛弧裂谷带内的断陷—沉陷盆地（如呷村盆地、赠科盆地、乡城盆地）及火山机构（如塌陷破火山口、火山高地与古海底地形围限的盆地）制约。矿体或矿床则主要受古海底洼地、火山穹丘、次火山侵入活动及其所诱导的张性断裂系统控制。

赋矿岩石特征 赋矿岩石为海相火山岩系，具典型的“双峰”岩石组合特征。基性岩主要为拉斑系列的玄武岩和/或辉绿岩，具大洋—岛弧过渡型玄武岩地球化学特征，与酸性岩呈互层型或并列型产出。酸性岩为钙碱性系列的流纹岩和/或英安岩类，为钙碱性岩浆演化至最晚阶段产物。该火山岩系具有明显的韵律旋回特征，赋矿岩石主要为韵律顶部的火山碎屑岩。

黄金地质研究所
信息室 提供

成岩成矿时代 赋矿的“双峰”岩石组合产于呷村组中段。呷村组下段安山岩的 Rb-Sr 法同位素年龄值为 232.58～200.77 Ma。矿床正常铅的模式年龄为 220.55～197.4 Ma，强矿化蚀变的绢英岩的 K-Ar 法同位素年龄值为 199.2 Ma，与含矿火山岩的年龄接近或相当，表明成矿作用主要发生在印支—燕山早期，即弧间张裂（岛弧裂谷）阶段酸性火山活动末期。

共生矿床类型 该类矿床是一个复合型矿床，既是硫化物矿床，又是重晶石矿床。此外还伴有脉状铜矿床和火山岩型汞矿床。

3 矿床地质特征

矿体赋存部位 矿床具有明显的“层控”特点，在区域地层中有固定层位，产于呷村组中段，“双峰”组合之酸性火山岩系最上部的流纹质（如呷村矿床）或英安质（嘎衣穷矿床）火山碎屑岩内部及顶部，并被喷气沉积岩及灰岩、板岩和千枚岩整合覆盖。矿床主要赋存在弧间裂陷中。

矿体基本特征 典型矿床由块状硫化物矿体和脉状—网脉状矿体组成，具双层结构特征。块状矿体为矿床主体，呈透镜状或席状，分布于火山岩系顶部；脉状—网脉状矿体产于火山岩系内部，并可直接不整合伏于块状矿体之下，亦可产出于块状矿体旁侧。矿体与酸性火山岩和喷气岩（喷气沉积岩）密切共生。理想的结构自下而上为火山碎屑岩→矿体→喷气岩。而完整的喷气岩（喷气沉积岩）层序自下而上为重晶石岩→碧玉岩→菱铁矿绿泥石岩，反映成矿作用与火山活动和热液喷气活动处于连续的同一体系中。

矿石矿物组合 金属矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂、硫铜银矿、辉银矿、汞银金矿、铜银金矿等。由矿体深部至浅部，矿石矿物组合显示由硫化物-石英→硫化物-重晶石-石英→硫化物-硫盐矿物-重晶石→重晶石的递变规律。

矿石结构、构造 不同矿带，矿石构造明显不同。在脉状—网脉状矿带中，主要为网脉—脉状、浸染状和少许显微草莓群构造。在块状矿带中，块状、层状、层纹状和胶状构造十分发育。在脉状矿与块状矿过渡带，角砾状和碎屑状构造常见，其中角砾状构造又有矿基（ore-matrix）和岩基（rock-matrix）角砾状之分。块状与网脉状矿石具有类似的结构特征，如结晶结构，交代反应结构。结构、构造反映块状矿石具同生化学沉积特点，脉状—网脉状矿石具热液沉淀特点。

围岩蚀变特征 围岩蚀变具明显的不对称性，于矿体下盘，围绕网脉状矿体周围发育形成蚀变岩筒，并且自蚀变岩筒边缘至中央依次为绿泥石化带、绢云母化带、硅化带，形成温度依次为 175→236→320 ℃。晚期叠加钡冰长石化。自蚀变岩筒下部至上部出现硅化-绢云母化带、硅化-碳酸盐化带。

矿体空间分带 在块状矿带中，下部主要由黄铁矿和黄铜矿组成，为“似黄矿”；中部主要由闪锌矿和方铅矿组成，为“黑矿”；上部由铅锌矿、含银矿物及重晶石矿组成，为“富银黑矿”—重晶石矿。其 Cu/（Pb＋Zn）值依次变化为 0.11→0.07→0.06。脉状—网脉状矿带总体显示中央为铜-锌-铅矿化，边缘为铅-锌矿化。

4 矿床模式描述

模式简要说明 1）成群、成带的矿床分布于义敦古岛弧内的岛弧裂谷带内的海相火山岩分布区；2）成矿作用发生于岛弧裂谷阶段，矿床与“双峰”岩石组合相关。火山碎屑岩、矿体、喷气岩三者密切共生；3）热液体系沿火山通道（或寄生火山通道）或断裂系统活动。成矿流体经火山碎屑岩弥散流式喷入海底，形成块状硫化物堆积体，在热液活动通道形成脉状—网脉状矿。成矿流体化学、热状态及其他物化条件的系统变化，导致矿体和蚀变岩筒内的矿石矿物、脉石矿物、蚀变矿物及化学成分的明显分带。成矿作用过程与现代海底“黑烟囱”式成矿作用相类似（图 1）。

成矿主要机制 矿床成矿温度介于 122～382 ℃，其中，“似黄矿”为 285～380 ℃，“黑矿”为 122～280 ℃。因黄铜矿和闪锌矿等相对溶解度明显受温度制约，因此，矿床“下黄上黑”分带可能是成矿流体冷却所致。流体无沸腾，成矿压力约为 11.5 MPa，与岛弧裂谷带断陷盆地水深相当（1 000～1 200 m）。流体成分主要为 Na^+，K^+，F^-，Cl^- 和 CO_2，属于（Cl^--F^-）/K^+-Na^+-CO_2 类型，接近海水成分。成矿流体的 δD 值＝－29‰～－94‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$＝5.6‰～0.6‰，反映成矿流体为海水与岩浆水混合热液。

成矿物质来源 硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化于－4.6‰

黄金地质研究所
信息室 提供

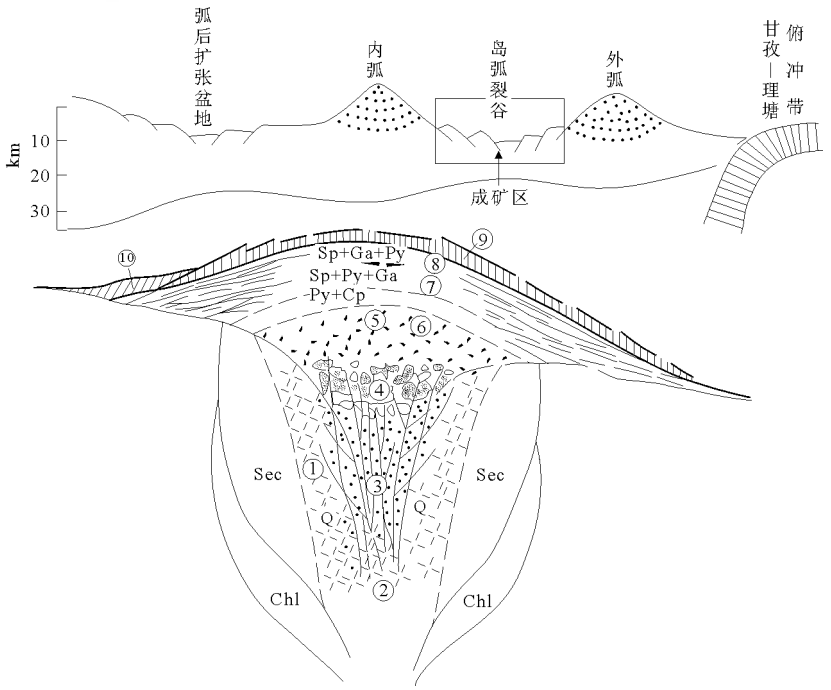


图 1　岛弧带上与火山喷发有关的（呷村式）块状硫化物重晶石铅-锌-银矿床模式

①—硅化流纹质火山岩；②—网脉状黄铁矿；③—网脉状黑矿；④—流纹岩角砾状矿；⑤—含重晶石角砾的块状矿；⑥—块状似黄矿；⑦—块状黑矿；⑧—块状富银黑矿；⑨—重晶石层；⑩—赤铁矿碧玉岩；Q—硅化带；Sec—绢云母化带；Chl—绿泥石化带；Sp—闪锌矿；Ga—方铅矿；Cp—黄铜矿；Py—黄铁矿

～3.1‰，重晶石 $\delta^{34}S$ 值为 13.8‰～22.5‰。据估算，网脉矿 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ = —0.2‰～0.5‰，块状硫化物 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ = 4.5‰～9.9‰，重晶石 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ = 9.6‰～16‰，表明矿体硫化物的硫主要来自岩浆体系，而重晶石的硫则来自海水。矿石铅同位素与火山岩的类似，反映铅来自火山岩系。矿石 Pb/Zn，Zn/(Pb+Zn）值与含矿火山岩系相应比值一致，揭示成矿物质主要来自火山岩系。

对成矿的不同认识　对此类矿床成因目前已基本得到共识，但对某些细节尚存有不同看法。

5　矿床模式应用

主要控矿因素　1）构造因素，即张性岛弧、岛弧裂谷、裂谷带张性断裂、火山机构附近断裂系统；2）沉积盆地因素，即断陷盆地、海底洼地与古海底围限盆地；3）火山岩和火山机构因素，即火山岩组合、喷发旋回、岩相特征及火山机构（破火山口、熔岩穹丘、次火山侵位）。

找矿主要标志　1）夹于内外火山弧间的岛弧裂谷带及双峰岩石组合；2）火山喷发中心和火山机构；3）喷气岩及喷气沉积岩（重晶石岩、碧玉岩、菱铁矿岩等）；4）区域地层的钡、锑、汞、砷、铅、锌、铜异常；5）近矿火山岩的强烈蚀变及蚀变分带。

地质经济意义　该类型矿床富含铜、铅、锌、银、金，可综合利用，有着较重要的经济地质意义。

6　矿床主要实例

四川呷村含金富银铅-锌矿床和四川嘎衣穷富银铜-铅-锌矿床。

摘自《中国矿床模式》

黄金地质研究所
信息室 提供

古隆起带上与陆相火山活动有关的（蔡家营式）脉状铅-锌-银矿床模式

1 成矿构造背景

构造背景 该类型矿床主要分布于河北北部等地。该区处于华北古陆块北缘，新太古代为优地槽型沉积。自古元古代以来长期隆起，缺失中、新元古界长城系、蓟县系、青白口系及古生界。中生代构造-岩浆（喷发及侵入）活动较强烈，形成一系列隆起和坳陷及有关的矿床。

大地构造位置 中朝准地台内蒙地轴中部。

2 产出地质环境

主要控矿构造 中生代，区域近 EW 向深断裂复活，所派生的 NE 或 NNE 向与 EW 或 NW 向断裂的交会部位，不仅控制着区内燕山期火山-潜火山活动，而且也制约着有关侵入岩体和矿床（点）的空间分布。

赋矿岩石特征 区内赋矿岩石主要为新太古代的变质岩，如黑云斜长变粒岩、石榴斜长变粒岩、花岗片麻岩等，部分为不整合覆盖其上的上侏罗统火山碎屑岩。

成岩成矿时代 与成矿有关的花岗斑岩或石英斑岩岩株和矿床中成矿前石英斑岩脉中锆石的铀-铅法不一致线年龄，分别为 141 和 119.1 Ma。同时根据矿体（脉）穿切上侏罗统火山岩等事实，认为成矿时代为燕山晚期（119 Ma 左右）。

3 矿床地质特征

矿体赋存部位 该类型矿床的矿体（脉），主要产于靠近斑岩体的变质岩（为主）和火山碎屑岩的中—陡倾斜裂隙系统中。

矿体基本特征 矿床（点）中的矿体多为隐伏—半隐伏的脉状、透镜状或扁豆状，且具分支复合现象。矿体大小不一，如蔡家营矿床的矿体一般长 300～800 m，有的长达 1 000 m 以上，矿体厚度变化大，0.10～42.3m，平均厚度为 0.62～6.62 m，延深 190～520 m。矿体（脉）走向为 NWW，SN 和 NE 向，倾向不一，倾角 50～80°，但均穿切变粒岩或片麻岩和（或）火山碎屑岩层。

矿石矿物组合 金属矿物主要有铁闪锌矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿，次要的有毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等，微量的有自然金、银金矿、脆银矿、自然银、自然铋、辉铋铅矿等。非金属矿物为石英、方解石、绿泥石、绢云母、阳起石、绿帘石、石榴子石、菱铁矿、黑柱石、萤石等。

矿石结构、构造 主要呈自形—半自形粒状、乳滴状、骸晶、交代残余、压碎和揉皱结构等。构造主要为脉状、块状、稠密—稀疏浸染状和角砾状构造等。

围岩蚀变特征 近矿围岩具线性热液蚀变特征，并因围岩岩性不同，其蚀变产物亦有所差异。如角闪黑云斜长变粒岩或片麻岩，主要为绿泥石化、阳起石-绿帘石化、碳酸盐化、绢云母化和硅化；酸性火山碎屑岩和石英斑岩多为硅化、绢云母化和碳酸盐化等。蚀变在空间上并非依次呈带状展布，而往往是相互叠加在一起，只不过是以某种蚀变为主而已。

矿床（体）空间分带矿 区内北部的兰阎—蔡家营—青羊沟矿床（点）呈 NW 向分布，南部三道沟—孙家庄矿点呈 EW 向展布，它们大体上有等间距产出的特征。但对一个具体矿床而言，矿体无明显的空间分带。

4 矿床模式描述

矿床模式及成矿机制 燕山期，区内构造-岩浆活动强烈，沿断裂的交会部位先是喷发形成中酸性火山岩，尔后是同源岩浆侵位于太古宙变质岩和火山岩中，形成浅成—超浅成斑岩体。岩浆结晶分异演化过程中派生出岩浆期后含矿热流体，同时在下渗大气降水参与下构成对流循环热液系统。在热液系统演化过程中，随着对流循环的不断进行，以及不断地从铅、锌背景值较高的（分别为 13×10^{-6} 和 70×10^{-6} 以上）变质岩中萃取有用组分，从而致使混合含矿流体中成矿元素浓度增大。当它们沿裂隙带上升，由于压力降低而发生沸腾，其中

黄金地质研究所
信息室 提供

挥发组分向外逸散，引起围岩的热液蚀变作用。铅、锌主要呈氯化物配合物搬运，因物理-化学条件变化发生分解，在中温的还原条件下，发生富集并形成脉状矿床（图 1）。

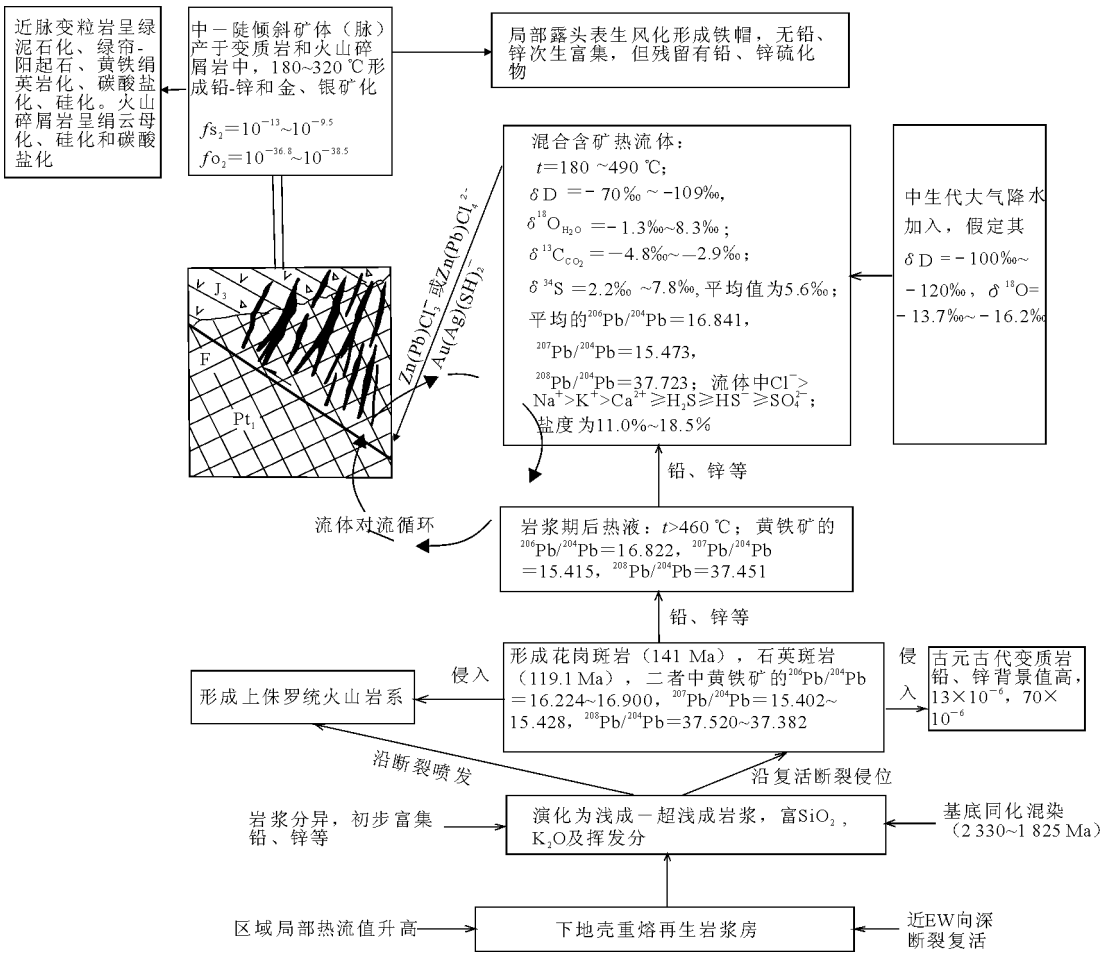


图 1　古隆起带上与陆相火山活动有关的（蔡家营式）脉状铅-锌-银矿床模式图

对成矿的不同认识　关于成矿物质来源有不同看法，有的认为完全来自岩浆。

5　矿床模式应用

主要控矿因素　1）铅、锌背景值高于地壳古老变质岩和火山碎屑岩的平均含量，尤其是角闪黑云斜长变粒岩或片麻岩是成矿的有利围岩；2）高硅（SiO_2＞73%），富碱（K_2O+Na_2O＞8.0%），贫钙（CaO 0.2%～1.0%）和镁（MgO 0.1%～1.0%）的花岗斑岩和石英斑岩体；3）燕山期断裂带或断裂的交会部位。

找矿主要标志　1）铁帽中有次生白铅矿、菱锌矿、蓝铜矿和残存的方铅矿及闪锌矿；2）岩石中线状绿泥石化、碳酸盐化、绢云母或硅化的发育；3）地表岩石或土壤的铅、锌地球化学异常；4）古人采矿遗迹。

地质经济意义　该类型矿床矿石品位高，矿体集中，产状规则，易于采选，具有很高的研究与工业利用价值。

6　矿床主要实例

河北蔡家营和青羊沟等矿床。

摘自《中国矿床模式》

黄金地质研究所
信息室 提供

新疆可可塔勒铅-锌矿床的发现

可可塔勒矿床是由新疆有色地质勘查局于1986年发现的。新疆有色地勘局706队在20世纪70年代，曾在阿尔泰山南缘海相火山岩带中寻找铁矿床，发现并勘查了蒙库大型铁矿床，同时对阿尔泰山南缘火山岩特点进行了初步的了解。

通过与原苏联矿区阿尔泰（VMS型多金属矿床集中区）的对比分析，确定了阿尔泰山南缘火山岩带是矿区阿尔泰火山岩带的南东延伸部分，二者的构造-火山-沉积特征具有明显的相似性，新疆阿尔泰山南缘海相火山岩应是寻找VMS型铅-锌矿床的远景区。基于这一认识，由新疆有色物探队于1983—1985年开展了阿尔泰山南缘3 250 km^2的1∶5万化探扫面工作，在麦兹地区圈定了H—48和H—51两个Pb-Zn-Ag-As-Cu-Cd-Mn综合异常区，其中H—51异常长约40 km，宽3～8 km，被认为具有更好的找矿前景。随后对H—51号异常进行1∶2万土壤次生晕详查，将H—51异常分解为14个土壤次生晕综合异常（编号分别为B1～B14），土壤次生晕异常清楚地反映出了麦兹地区有利含矿层位的存在。

1986年，国家科技攻关“305”项目实施，由新疆有色地勘局与北京矿产地质研究所联合对麦兹地区化探异常开展了检查评价工作，根据地质和铅-锌综合异常特别是其中Cd异常的规模强度等综合分析，将麦兹向斜南东转折端附近列入重点检查评价区。在麦兹向斜南东转折端的B11异常区中发现了规模较大的含有残留方铅矿、闪锌矿的硫化物铁帽，随即对铁帽分布区开展了槽探和物探激电工作，确定了验证孔位，第一个钻孔打到了穿矿厚度60余m的铅锌富矿体，至此发现了可可塔勒铅-锌矿床。1987—1992年期间对可可塔勒矿区开展了系统的普查和部分地段的详查工作，查明Pb＋Zn资源量达到300万t。在普查和详查中TEM和钻孔原生晕方法发挥了重要作用。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

美国威斯康星州北部块状硫化物矿床发现史

加拿大东南部安大略省提敏斯地区和魁北克省诺兰达等地区是加拿大地盾上著名的前寒武纪块状硫化物矿区。可是长期以来在美国东北部邻近加拿大地区的类似地层中都没有发现这类重要矿床。20世纪70年代开始，情况有所变化，在美国威斯康星州北部相继发现了大小4个块状硫化物矿床，它们是克兰多、弗拉姆博、托尔纳博勒、佩利坎河矿床。其中克兰多矿床是1975年7月发现的，其矿石储量7 500万t，含Zn 5%，Cu 1.1%，Pb 0.4%，是美国近30年来重要矿床发现之一。

1 矿床发现史

美国肯奈柯特铜公司早在1950年就在威斯康星州北部开始寻找这类块状硫化物矿床。据说该公司对这一地区的兴趣是由该州地质调查所1914年发表的一篇短文引起的。该文提到，在腊斯克县南部一口30英尺深的手工挖掘的井中，打到了强烈蚀变的含有次生铜矿物的岩石。

1966年，该公司的一名地质人员在腊斯克县工作时，发现了3个小的强烈蚀变的古老火山岩的露头，其中含有丰富的黄铁矿。他认为，这可能是块状硫化物矿床特有的容矿岩石。他圈出了3个远景区，彼此相距数英里。1967年选择其中一个地区进行金刚石岩心钻探，打到了丰富的黄铁矿，但未打到有色金属矿石。不过，有丰富的黄铁矿存在这一事实激励了该公司去进行一项航空物探工作。

1967年5月，进行了航空电磁法测量，测区面积220平方英里，包括了上述3个远景区。这项工作并未发现原来圈定的3个区有多少异常，但却另外指出了一个可能有价值的地区。解释该异常的地质人员认为它是构造复杂区，建议对它进行地面详查。于是采用新引进的Slingram-Ronta电磁法进行了测量。后来在莱迪史密斯镇西南1英里多的地方发现了一个良导性地带，位于弗拉姆博河东仅二三百英尺处。对该异常的解释，认为可能是一条狭窄的块状硫化物矿带，它完全隐伏在冰碛物之下。然后进行了金刚石钻探。1968年11月6日，在199英尺深处打到了块状硫化物铜矿床。1969

黄金地质研究所
信息室 提供

年和 1970 年进行了更多的物探工作，并打了 133 个金刚石钻孔（最深超过 800 英尺），圈出了 55 英尺宽、2 400 英尺长、深达 800 英尺的矿体。1970 年末，肯奈柯特公司发现弗拉姆博矿床，该矿床有矿石储量 360～540 万 t，含 Cu 3.5%～4%。

自弗拉姆博矿床发现后，其他许多公司都蜂拥到该区进行勘查，一时间竟达 24 家公司之多，尽管有竞争，但肯奈柯特公司继续在该区进行航空和地面工作，公司的物探人员对莱迪史密斯镇西北的一个小的物探异常进行了各种解释，地质人员进行了野外检查并发现块状硫化物出现在该点的托尔纳普勒河中的火山岩露头上，结果用 20～30 个钻孔证实有一小矿体的存在，这就是托尔纳普勒矿床。该矿床发现之后，勘查工作似乎趋于停滞，然而在 1974 年，诺兰达勘探公司的地质人员在进行了一些地质工作之后宣布发现佩利坎河铜-锌矿床，它位于莱迪史密斯镇以东约 100 英里处，拥有矿石储量 210 万 t，含 Zn 4.5%，Cu 1%。

在该区更靠东部的地区，福雷斯特县的克兰多镇附近，几家公司认出了一物探异常，但是由于冰碛层达 300 英尺之厚，钻进有些问题，因此认为不是最首要的靶区。最后埃克森公司在该区进行了勘查钻进，在离地表 417 英尺处遇到了硫化物，从而于 1975 年 7 月发现了大的克兰多矿床，它位于弗拉姆博矿床以东约 200 km 的福雷斯特县克兰多镇以南约 10 km 处。

至此，该区内总共发现了弗拉姆博（肯奈柯特公司）、托尔纳普勒（肯奈柯特公司）、佩利坎河（诺兰达公司）和克兰多（埃克森公司）4 个矿床，这些矿床的发现主要是由于野外地质工作与现代地球物理技术密切配合的结果。它们大致位于 EW 向延伸的总距离 110 英里范围内，属前寒武纪绿岩带，现在仍有不少公司在该带勘查。

2 矿区和矿床地质特征

这些块状硫化物矿床产在前寒武纪莱茵兰德—莱迪史密斯绿岩带的火山岩中。绿岩带呈 EW 向分布于该州的北部，宽约 100 km，长约 240 km。绿岩带的岩性主要为基性和中性岩流、火山碎屑岩和凝灰质的沉积岩，局部有长英质的火山岩。在绿岩带内变质程度是由低级绿片岩相到麻粒岩相。该地区的前寒武纪地层与加拿大苏必利尔区年龄为 25～27 亿年的火山岩带非常相似。经测定为太古宙（前寒武纪；图1）。区内岩石露头少，大部分

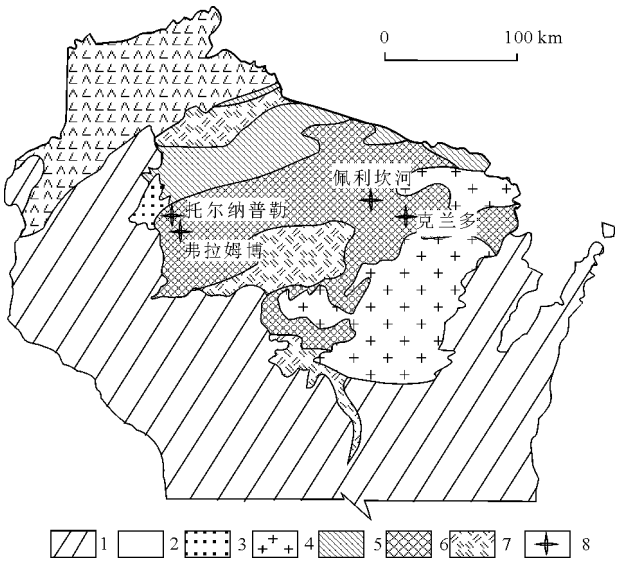


图 1 威斯康星州北部地质图（据地矿部情报所《国外重要矿床（区）勘查史例》第一册，1985）

1—古生代沉积岩；2—基韦诺和较年轻的前寒武纪岩石（前寒武纪 Y—Z）；3—石英岩（前寒武纪 X）；4—花岗侵入岩（前寒武纪 X—Y）；5—变质沉积岩（前寒武纪 X）；6—绿岩带岩石（前寒武纪 W？）；7—片麻岩、混合岩（前寒武纪 W）；8—块状硫化物矿床

地方均被冰碛层所覆盖。

该区最大的克兰多矿床产在以中、酸性为主的火山岩和由火山岩碎屑形成的沉积岩内。块状硫化物矿体之下为长英质火山碎屑岩，之上为中性火山岩以及火山岩碎屑形成的沉积岩。由下而上的岩性具如下特征。

下盘角砾岩层，主要为流纹质火山碎屑角砾岩层，其中含有少量凝灰岩层。碎屑大至 0.5 m，呈棱角状到半滚园，基质为同一成分的流纹岩。角砾岩中石英-绿泥石-菱铁矿-黄铁矿-黄铜矿脉非常发育，组成细脉状矿带。

克兰多层，指块状硫化物层以及与其同一层位的岩相。其厚度在西边为 0.3 m，而在矿床中心附近为 80 m。克兰多层主要有 3 种岩性：块状硫化物、富含硫化物的流纹质火山砾凝灰岩以及黑色页岩。

块状硫化物相，主要是黄铁矿，以及不定量的闪锌矿、黄铜矿，还有少量方铅矿、石英、绿泥石和绢云母。矿物颗粒有粗有细。硫化物通常呈条带状，有些地方能观察到硫化物碎屑、粒级层理和滑塌的特征。硫化物总含量按体积计算通常大于 65%。

富含硫化物的流纹质火山砾凝灰岩相的厚度一般小于 10 m，产在克兰多层底部附近。该凝灰岩为粗粒的火山碎屑岩，其碎屑为流纹岩、燧石质流

黄金地质研究所
信息室 提供

纹岩和黄铁矿，而基质为黄铁矿、闪锌矿和石英。硫化物总含量变化范围较大，按体积计算从 10% 到 40% 。

黑色页岩相见于整个克兰多层中，呈薄层状、不连续的透镜状出现在块状硫化物或富硫化物的流纹凝灰岩之上、之内或之下。在东端深处，克兰多层 90% 都是黑色页岩。该页岩呈层纹状到薄层状，富含绿泥石，并有少量碳质物质以及 3% 到 15% 的黄铁矿。

中性凝灰岩层，在该区的大部分地段上，它都直接覆盖在克兰多层之上。厚度为 0～300 m 以上。岩石为细到中粒的英安岩到安山质成分的薄层凝灰岩和凝灰质沉积岩，其次还有富火山砾的凝灰岩、晶屑凝灰岩、燧石质凝灰岩、页岩和杂砂岩，局部有钙质凝灰岩。

长英质凝灰岩层，有几层长英质凝灰岩和火山砾凝灰岩层与中性凝灰岩层和其上覆的中性角砾岩层成互层。这些岩石厚度介于 0～90 m 之间。通常含有 2% ～5% 的黄铁矿（按体积计）。

中性角砾岩，岩石成分为安山岩到英安岩，可能是中性凝灰岩层的粗粒岩相。其特征是具有强烈扭曲的薄层富 SiO_2 和富绿泥石相互交替的条带。

长英质岩流层，在矿区的西端出现厚层斑状英安岩。

中性岩流层，是钻孔中所见到的层位最高的岩石，岩性为细粒状安山岩流。

所有岩石都发生低级绿片岩相变质作用。典型矿物组合属石英-钠长石-白云母-绿泥石亚相。

克兰多矿体为一椭圆形透镜体，长 1 500 m，平均厚 30 m，向下延伸至少 500 m（图 2）。矿体由整合的和连续的块状硫化物层组成，局部下伏有硫化物细矿脉带。

块状硫化物矿石，平均厚 20 m，含 50% ～90% 的硫化物矿物，主要为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿和方铅矿。矿体的地层上界清楚，而且与矿体的顶面接近一致，下界不规则，而且也不一定与块状硫化物矿体的底面一致。细脉状硫化物矿石，占克兰多矿体储量的一半。大部分细脉状矿石均出现在明显整合的角砾岩层中，通常靠近块状硫化物层底面或在其下 30 m 范围内，但有时与块状硫化物层隔开的间隔可以达到 120 m（中间为下盘长英质岩石）。细脉状矿石段平均厚 23 m。其中硫化物矿物有黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿以及少量方铅矿、磁黄铁矿和毒砂。细脉状矿石是不规则的，也不连续，它是靠化学分析圈定的。

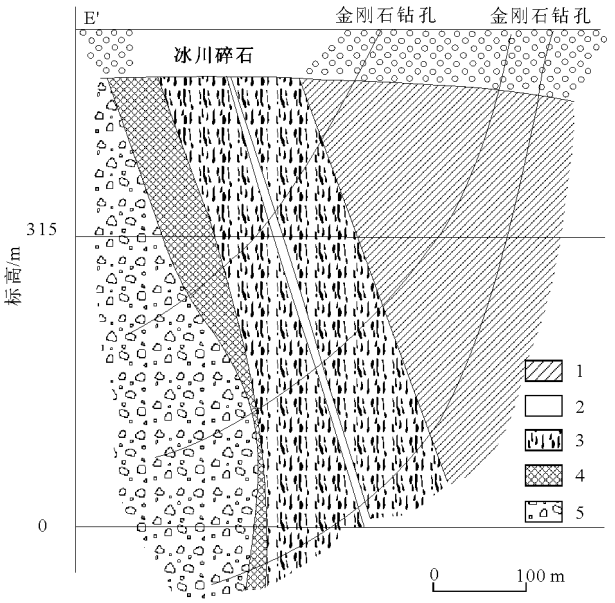


图 2　克兰多矿床地质剖面图（据地矿部情报所《国外重要矿床（区）勘查史例》第一册，1985）

1—中性角砾岩层；2—长英质角砾岩层；3—中性凝灰岩层；4—克兰多层；5—下盘角砾岩层

克兰多矿床为一海底火山喷气成因矿床。观察到的现象：1）矿石与长英质和中性火山岩体伴生；2）块状硫化物矿体具有层控特点；3）块状硫化物矿体之下存在有热液蚀变矿化分带；4）矿石矿物简单，且具分带性。

这些是加拿大地盾和其他地区火山成因块状硫化物矿床的共同特点。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

日本北鹿地区黑矿型矿床的勘查

北鹿（Hokoroku）地区面积约 600 km^2，日本 50% 以上的黑矿型矿床产在北鹿中新世火山盆地内。含矿的西黑泽组以厚层英安质熔岩（D_4，D_3）和凝灰岩（T_3，T_4）发育为特征，含少量互层的泥岩，平均厚 350 m。该组可大致分为上下 2 部分：下部以英安质熔岩流为主（D_4）；上部主要由凝灰角砾岩和凝灰岩组成，黑矿产于上部层的底部，D_4 英安质熔岩出现在北鹿盆地几乎所有地区，发育强烈的角砾化和热液蚀变（绿泥石、蒙脱石、绢云母、沸石、方解石、钾长石和钠长石），在黑

黄金地质研究所
信息室 提供

矿部位厚度大（达 600 m），而在无矿地区较薄（<100 m）；D_3 蚀变英安岩即所谓白色流纹岩穹隆（次火山岩）出现在近矿的下盘，直径 200～500 m，自碎角砾发育，伴有强烈蚀变。

过去认为该区的矿床主要形成于火山盆地的边缘，因而 20 世纪 60 年代的勘查工作主要集中在火山盆地的边缘，并成功地发现了一系列的黑矿型矿床。1969 年在盆地中部发现了隐伏的深沢矿床，具有划时代的意义。

1 深沢矿床的发现过程

深沢矿床是 1969 年在长期被认为是脉状矿床为主的北鹿盆地中部发现的，由 3 个主矿体和几个小的卫星矿体组成。

深沢地区位于北鹿盆地中部，并且是一个脉状矿床分布区，由于这些原因过去几十年的勘查工作从未在该区进行过，自 1965 年以来，Tamimura 等对北鹿盆地的地质构造和沉积环境进行了详细分析，认为深泽地区应是寻找黑矿的一个目标区。

1）北鹿地区所有大型的黑矿型矿床都产在西黑泽组的顶部层位，该层位在盆地中部也存在，并在深沢地区发现了类似于 Uweumuki 凝灰角砾岩（某些黑矿的容矿岩石）。

2）在小板和花冈地区的黑矿均产于基底构造薄弱部位。在深沢地区有一组 SN 和 EW 向断层，每一方向的断裂都由一束雁行排列的断层组成，这些断层也意味着基底构造薄弱部位的存在。

3）断裂南西部分布的英安质熔岩和西黑泽组下部英安岩相同，这种在许多矿区出现的英安岩被看作是与黑矿成矿有关的酸性岩浆活动的前期产物。

4）周围的宝仓黄铜矿-黄铁矿-石英脉，从典型的脉状矿床在深部变为网脉状矿，与黑矿型矿床下部出现的网脉状矿石非常类似。

据此，1969 年 1 月，提出了一个系统的钻探计划，第一个钻孔 TK—4 就打到了“黑矿层”的黄铁矿化、粘土化凝灰岩，5 月份的 TK—6 孔打到一小块黑矿石碎屑；7 月份 TK—13 孔首次打到了金山泽矿体，然后在 1970 年元月打到了角挂泽矿体。1969 年 1 月至 1970 年 9 月共施工 164 孔，计 86 249 m，其中 41 孔打到矿体，至此发现了这个隐伏于地下约 400 m 的深沢大型矿床。

2 铒钓矿床（Ezuri）的发现

深沢矿床的发现和深入研究，直接导致了铒钓矿床（位于深沢矿区西 7 km）的发现。

勘查选区依据：1）铒钓地区存在黑矿含矿层位露头；2）深沢矿位于主火山锥旁侧次级火山中心（白色流纹岩穹隆）东侧，故推测主火山锥西侧应存在类似的寄生火山锥；3）有脉状矿床产出。故选择铒钓地区作为有望找矿靶区，并于 1975 年开始了正式勘查工作。

由于以找埋深 300～400 m 以下的隐伏矿床为目标，首先以 400 m 间距开始系统的区域性钻探，以确定含矿层的存在及特征，在－200 m 的深度内发现了分布较广的 D_3 白色流纹岩穹隆（英安质熔岩）。对钻孔岩心进行矿物（X 衍射）和 Na，K，Ca 等成分分析，由此确定在勘查区的中部和南部，存在着类似深沢矿床的蚀变晕，随后钻探工作集中在蚀变带内（Na 亏损带内），结果在 1975 年 11 月和 1976 年 7 月成功发现饵钓矿床。已探明矿石量约 300 万 t，平均品位：Cu 0.89%，Pb 3.3%，Zn 10.1%，Au 1.3×10^{-6}，Ag 180×10^{-6}。

摘自《国内外铅锌矿床成矿理论与找矿方法》

世界铅资源 2006—2007 年评

世界铅资源丰富，2007 年世界已查明的铅资源量为 15 亿多 t，铅储量为 7 900 万 t，储量基础 17 000 万 t，中国铅储量为 1 100 万 t，储量基础 3 600万 t，均居世界第二位。2006 年世界矿山铅产量 370.68 万 t，比 2005 年增加 2.1%；精炼铅产量 808.43 万 t，比 2005 年增加了 4.7%；精炼铅消费量 765.75 万 t，比 2005 年增长 4.7%。铅现货平均价较 2004 年上涨 9.89%。2006 年世界商业库存量为 27.90 万 t，比 2005 年略低，美国战略储备铅的数量减至 100 t。2006 年，国际市场铅价格继续大幅度上涨，伦敦金属交易所 3 个月期货平均价 1 809 美元/t，为 1982 年以来的最高水平。

1 储量和资源

2007 年世界已查明的铅资源量为 15 亿多 t，

黄金地质研究所
信息室 提供

铅储量为 7 900 万 t，储量基础 17 000 万 t（表 1），与 2006 年相比，储量增加了 12 万 t，储量基础增加了 3 000 万 t。储量基础较多的国家有澳大利亚、中国、美国和哈萨克斯坦，合计占世界铅储量基础的 71%。其他储量基础较多的国家还有加拿大、秘鲁、墨西哥、摩洛哥、瑞典和南非等。按 2006 年世界铅矿山产量 370.68 万 t 计，现有铅储量和储量基础静态保证年限分别为 21 和 46 年。

世界勘查和开采铅-锌矿的主要类型：喷气沉积型（Sedex 型）、密西西比河谷型、砂页岩型、黄铁矿型、夕卡岩型、热液交代型和脉型等，其中以前 4 类为主，它们占世界总储量的 85% 以上，尤其是喷气沉积型，不仅储量大，而且品位高，世界各国均很重视。近年来，发现的铅-锌矿床主要在美国（阿拉斯加）、澳大利亚、加拿大、中国、爱尔兰和伊朗等地。

表 1　2007 年世界铅储量和储量基础　　铅/万 t

国家或地区	储　量	储量基础	国家或地区	储　量	储量基础
澳大利亚	2 400	5 900	墨西哥	150	200
中　国	1 100	3 600	摩洛哥	50	100
美　国	770	1 900	瑞　典	50	100
哈萨克斯坦	500	700	南　非	40	70
加拿大	40	500	其　他	2 400	3 000
秘　鲁	350	400	世界总计[1)]	7 900	17 000

1）原数据取整。资料来源：Mineral Commodity Summaries，2008。

由于现有铅储量和储量基础分别只占铅查明资源量的 4.5% 和 9.3%，说明全球铅的勘查潜力仍很大，近年来的勘查成果已证实了这一点。

2　开发和生产

2006 年，世界开采铅矿的国家有 32 个（按有统计数据的国家计），世界矿山铅产量为 370.68 万 t，比 2005 年增长了 2.1%，西方世界矿山铅产量 204.44 万 t，同比下降 3.7%（表 2）。世界矿山铅的生产大国有中国、澳大利亚、美国、秘鲁、墨西哥等，它们的年产量均在 10 万 t 以上，以上 5 国的矿山产量占当年世界产量的 81.6%。

2006 年，中国矿山铅产量继续大幅度增长，比 2005 年增长了 12.3%；此外，印度、摩洛哥和加拿大的矿山铅产量也有较大幅度增长。印度增长了 14.6%，摩洛哥增长了 15.7%，加拿大增长了 4.8%。澳大利亚矿山铅产量与 2005 年相比有较大幅度下降，降幅为 12.9%，美国和秘鲁的矿山铅产量也有较大幅度下降。2007 年，世界矿山铅产量 385.17 万 t，比 2006 年增长了 3.9%。

表 2　世界矿山铅产量　　铅/万 t

国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年
中　国	94.40	132.66	148.98	波　兰	5.27	5.09	5.00
澳大利亚	67.40	76.70	66.80	南　非	3.75	4.22	4.83
美　国	44.50	42.64	41.90	哈萨克斯坦	4.41	4.54	4.80
秘　鲁	30.62	31.93	31.33	俄罗斯	2.82	3.64	3.40
墨西哥	11.85	13.53	13.40	朝　鲜	2.00	2.00	2.00
加拿大	7.67	7.93	8.31	保加利亚	1.70	1.54	1.30
印　度	5.13	6.04	6.92	希　腊		0.25	1.05
爱尔兰	6.59	6.38	6.20	其　他	12.78	13.19	13.60
瑞　典	5.43	6.04	5.56	世界总计	310.74	362.90	370.68
摩洛哥	4.42	4.58	5.30	西方世界总计	197.57	212.23	204.44

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

2006 年，世界精炼铅产量为 808.43 万 t，比 2005 年增长了 4.7%，西方国家产量为 484.41 万 t，同比增长 0.6%（表 3）。目前世界精炼铅生产大国主要有中国、美国、德国、英国、日本、墨西哥、澳大利亚、韩国和加拿大等，它们的年产量均在 20 万 t 以上，尤其是中国和美国，产量分别占世界精炼铅产量的 33.8% 和 16.2%。

2006 年，精炼铅产量增幅较大的国家有中国（14.4%）、日本（2.2%）、澳大利亚（4.9%）、加拿大（8.8%）、西班牙（17.3%）、波兰（9.3%）和印度（38.8%）等。产量明显下降的国家有德国

黄金地质研究所
信息室 提供

(9.3%)、意大利(9.7%)、哈萨克斯坦(7.0%)和保加利亚(9.8%)等。

再生铅在铅工业中占有很重要地位，在发达国家再生铅产量一般占各国精炼铅产量和消费量的50%左右。2006年，世界再生铅产量为429.02万t，比2005年增长6.1%(表4)。再生铅主要生产国有美国、中国、德国、日本、意大利、英国、加拿大、墨西哥、西班牙和法国等，年产量均在10万t以上。尤其是美国的产量占世界再生精炼铅产量的27%，分别占其本国精炼铅产量和消费量的88.5%和74.4%。2006年，中国再生铅产量为80万t，同比增加了48.1%，分别占中国精炼铅产量和消费量的29.2%和35.9%。

表3 世界精炼铅产量 铅/万t

国家或地区	2004年	2005年	2006年	国家或地区	2004年	2005年	2006年
中 国	181.19	239.14	273.55	秘 鲁	11.90	12.21	12.03
美 国	128.57	131.42	131.13	法 国	10.50	10.65	10.42
德 国	35.90	41.77	37.90	比利时	6.34	9.72	9.72
英 国	24.59	30.44	30.69	波 兰	7.39	8.78	9.60
日 本	28.29	27.46	28.06	保加利亚	6.90	9.35	8.43
澳大利亚	26.60	26.67	27.98	印 度	4.00	5.60	7.77
墨西哥	24.16	27.21	27.36	瑞 典	7.35	7.89	7.74
加拿大	24.14	23.02	25.05	南 非	6.40	6.53	6.54
韩 国	22.40	23.08	22.95	摩洛哥	2.50	3.86	4.47
意大利	20.16	21.10	19.05	其 他	75.75	81.49	82.50
西班牙	10.56	11.00	12.90	世界总计	681.25	771.93	808.43
哈萨克斯坦	15.66	13.54	12.59	西方世界总计	455.05	481.41	484.41

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

表4 世界再生精炼铅产量 铅/万t

国家或地区	2004年	2005年	2006年	2006年占本国精炼铅产量的比例/%	2006年占本国铅消费量的比例/%
美 国	113	115	116	88.5	74.4
中 国	36	54	80	29.2	35.9
德 国	24.3	27.7	26.52	70.0	66.9
日 本	18.86	16.8	17.17	61.2	56.5
意大利	16.16	16.15	15.59	81.8	55.0
英 国	12	14.3	14.4	46.9	48.0
加拿大	10.95	12.02	13.45	53.7	318.7
西班牙	10.56	11	11.01	85.3	41.5
墨西哥	11	11	11.5	42.0	39.4
法 国	10.5	10.65	10.02	96.2	48.4
韩 国	5	5	5	21.8	15.4
瑞 典	5.2	5.2	5.2	67.2	262.6
世界总计	364.78	404.53	429.02	53.1	52.7
占世界精炼铅产量的比例/%	53.5	52.4	53.1		
占世界铅消费量的比例/%	50.4	52	52.7		

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

3 用途和消费

2006年，世界精炼铅的消费量为814.30万t，比2005年增长4.7%，西方世界消费量为551.26万t，同比增长2.5%(表5)。世界精炼铅消费大国和地区有中国、美国、韩国、德国、日本、英国、墨西哥、意大利、西班牙、法国、印度、泰国、巴西和中国台湾等，年消费量均在10万t以上；中国和美国是世界上最重要的精炼铅消费国，其消费量分别占世界总量的27.4%和19.2%。2006年，精炼铅消费量增加较多的国家主要有中国(24.4万t)，美国(7万t)、印度(3万t)，意大利(2.2万t)和英国(1.8万t)等。精炼铅消费量下降较多的国家有韩国(2.8万t)、西班牙

黄金地质研究所
信息室 提供

表 5 世界精炼铅消费量 铅/万 t

国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年
中 国	143.47	198.46	222.84	波 兰	7.99	9.38	10.75
美 国	148	149	156	马来西亚	10.84	6.03	7.63
德 国	39.6	40.59	39.62	印度尼西亚	8.37	7.26	7.43
韩 国	35.81	35.26	32.5	南 非	7.97	7.37	7.36
日 本	29.14	29.38	30.39	伊 朗	7	7	7
英 国	33.04	28.17	30	奥地利	4.86	3.57	4.28
墨西哥	25.37	28.9	29.18	加拿大	5.16	4.22	4.22
意大利	27.5	26.22	28.37	比利时	3.51	3.57	3.63
西班牙	22.61	27.93	26.51	荷 兰	6.15	3.12	2.77
法 国	18.86	21.01	20.7	澳大利亚	3.9	2.9	2.7
印 度	14.19	13.86	16.82				
泰 国	13.36	12.9	13.99	其 他	80.92	87.71	84.9
巴 西	11.56	12.07	12.6	世界总计	723.76	777.55	814.3
中国台湾	14.58	11.67	12.11	西方世界	545.36	537.78	551.26

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

(1.4 万 t) 和德国 (1 万 t) 等。从地区上看，亚洲和美洲精炼铅消费量增长最多，分别增长了 29 万 t 和 9.6 万 t；大洋洲和非洲与 2005 年基本持平，欧洲略有下降。2007 年，世界铅消费量为 835.66 万 t，比 2006 年增长 2.6%。

多年来，铅主要消费地区是欧洲和美洲，亚洲位列第三。但近年随着亚洲经济稳定增长，铅的消费也稳定增长，而同时欧洲和美洲都已达到消费顶峰（欧洲是在 1980 年左右，美洲是在 2000 年），亚洲目前已经成为最大的消费地区，2006 年精炼铅消费量达到 378.57 万 t，占世界消费量的 46.5%，而欧洲和美洲分别占 25.2% 和 26.5%。这种显著变化的主要原因是由于亚洲几个国家，特别是中国工业及经济的快速发展所致，中国国内市场消费和出口都比较强劲。从 2005 年开始，中国在主要消费国家的排名已超过美国，跃居世界第一。

铅的最大消费领域为铅酸蓄电池，主要应用于汽车工业，其消费量占主要铅消费国消费量的一半以上。2006 年，美国占 87.2%，日本占 86.5%，意大利占 71.9%。此外，铅还用于弹药、铅管、铅片、合金、电缆包皮以及颜料、化工制品等。由于铅会对环境造成严重污染，因此铅在许多行业的使用被限制，替代品也逐渐增多，所以其应用前景并不乐观。

4 贸易和市场

2006 年，世界精炼铅出口总量为 195.10 万 t，比 2005 年增长 8.1%。主要出口国有中国、澳大利亚、加拿大、比利时、哈萨克斯坦、德国和秘鲁等。2006 年，世界精炼铅总进口量为 202.64 万 t，比 2005 年增长了 11.4%。主要进口国和地区有美国、韩国、德国、西班牙、法国、中国台湾和印度等（表 6）。

2006 年，世界商业库存量为 27.90 万 t，比 2005 年减少 4 400 t；2006 年，美国战略储备减少 2.36 万 t，仅有 100 t（表 7）。

2006 年，国际市场铅价格继续大幅度上涨，伦敦金属交易所（LME）3 个月期货平均价最高值已达到 1982 年以来的最高水平，但现货价格还没有触及当时最高水平。2006 年 LME 3 月期货平均价先是在 2 月创出 1 448 美元/t 的历史新高，随后进入几个月的波动下滑，6 月至 1 026 美元/t 的低点后开始反弹，之后一路迅猛上涨，12 月达到 1 809美元/t 的历史新高；2006 年 LME 3 月期货平均价为 1 280.68 美元/t，比 2005 年上涨 36%。2006 年 LME 现货平均最高价是 12 月的 1 725.5 美元/t，最低价为 6 月的 963.86 美元/t。2006 年 LME 现货平均价为 1 287.49 美元/t，比 2005 年上涨了 32%。

2006 年，中国国内价格走势和国际价格相比基本一致（表 8）。年初 12 960 元/t，2 月下跌到 12 513元/t，之后至 8 月一直在 11 000 元/t 上下波动。从 9 月开始价格才迅速上涨，11 月涨至 14 730元/t 的历史最高水平。2006 年，国内生产者报价平均价为 12 153 元/t，比 2005 年上涨了 30%。

总体上看，虽然 2006 年国际市场铅价波动幅度较大，但总体呈大幅上涨趋势。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 6 世界精炼铅贸易进出口量 铅/万 t

出口国或地区	2004 年	2005 年	2006 年	进口国或地区	2004 年	2005 年	2006 年
中 国	44.8	45.51	53.83	美 国	17.57	27.07	32.6
澳大利亚	21.17	24.54	21.81	韩 国	15.68	15.88	12.16
加拿大	14.96	16.07	18.38	德 国	8.89	8.49	10.88
比利时	9.33	11.04	9.81	西班牙	14.97	17.08	14.38
哈萨克斯坦	12.29	10.41	9.69	法 国	8.48	10.51	11.54
德 国	7.91	9.67	9.94	中国台湾	12.54	9.75	10.11
秘 鲁	8.92	9.13	7.67	印 度	10.42	9.6	9.28
瑞 典	6.25	6.29	6.92	马来西亚	6.71	1	4.43
英 国	3.77	5.05	8.64	荷 兰	7.84	3.14	2.1
新加坡	1.88	4.67	9.62	泰 国	7.69	6.8	5.42
美 国	5.2	3.94	4.92	意大利	9.49	6.67	9.88
韩 国	2.23	3.69	2.61	巴 西	6.37	6.87	7.4
墨西哥	0.89	1.84	2.18	奥地利	3.51	1.16	1.39
法 国	0.4	0.48	1.07	爱尔兰	2.67	3.1	2.84
南斯拉夫	0.04	0.26	0.28	比利时	2.7	1.88	1.51
其 他	31.78	27.93	27.73	其 他	63.32	52.98	66.72
世界总计	171.82	180.52	195.1	世界总计	198.85	181.98	202.64

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

表 7 世界精炼铅的库存量 铅/万 t

库存所在地	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
伦敦金属交易所	10.89	4.05	4.36	4.11
各国库存量	27.92	22.82	23.98	23.79
世界商业总库存量	38.81	26.87	28.34	27.90
美国战略储备	16.79	5.54	2.37	0.01

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

表 8 铅市场现货价格

年 份	伦敦金属交易所年平均价格/(美元·t^{-1})	2006 年月份	伦敦金属交易所月平均价格/(美元·t^{-1})	2006 年月份	国内生产者月平均价格/(元·t^{-1})
1995	630.51	1	1 256.33	1	11 296
1996	773.96	2	1 277.05	2	12 513
1997	624.1	3	1 192.09	3	11 483
1998	528.42	4	1 170.42	4	10 820
1999	502.24	5	1 166.86	5	11 000
2000	454.22	6	963.86	6	10 333
2001	476	7	1 052.38	7	10 573
2002	452.58	8	1 174.14	8	11 192
2003	515.66	9	1 342.38	9	13 336
2004	888.33	10	1 531.14	10	13 900
2005	975.65	11	1 624.52	11	14 730
2006	1 287.49	12	1 725.50	12	14 663

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

5 展 望

今后几年随着世界经济增长速度的减缓，国际矿产品市场的供应紧张状况将得到一定缓解。但由于中国经济仍将保持较高增长速度，汽车工业的持续发展将使铅的需求进一步增加，这必将导致国内铅消费量进一步增加。为了保证国内市场，中国精炼铅出口量将会继续减少，从而使国际市场供应紧张局面得不到根本性好转。受此影响，国际市场铅价仍将保持较高价位。

从长远看，人类对生存环境的质量要求越来越高，铅的应用前景和市场并不乐观。从近期看，全球汽车工业的发展仍将是影响铅价和市场的最重要因素。

摘自《2006—2007 世界矿产资源年评》

黄金地质研究所
信息室 提供

世界锌资源 2006—2007 年评

世界锌资源较为丰富，2006 年世界锌储量和储量基础的静态保证年限分别为 17 和 45 年。中国锌储量居世界第一；锌矿山产量、精炼锌产量和精炼锌消费量均居世界第一，但人均数量均大大低于世界平均水平。

2006 年，世界矿山锌产量增长 4.8%，精炼锌产量和消费量也分别增长 4.3% 和 3.9%。国际锌市场已经连续 4 年供应短缺，由此导致国际市场锌价暴涨，LME 年均现货价 3 272.62 美元/t，比 2005 年上涨 136.9%。

1 储量和资源

世界锌资源较为丰富，地理分布广泛。据美国地调局资料，2007 年世界锌储量为 18 000 万 t，储量基础 48 000 万 t（表 1），与 2006 年相比，储量减少了 4 000 万 t，储量基础增加了 2 000 万 t。按 2006 年世界锌矿山产量 1 060.8 万 t 计，现有锌储量和储量基础静态保证年限分别为 17 年和 45 年。目前，锌储量较多的国家有澳大利亚、中国、美国、加拿大、哈萨克斯坦、秘鲁和墨西哥等。

表 1 世界锌储量和储量基础 锌/万 t

国家或地区	储 量	储量基础	国家或地区	储 量	储量基础
美 国	1 400	9 000	秘 鲁	1 800	2 300
澳大利亚	4 200	10 000	墨西哥	700	2 500
中 国	3 300	9 200	其 他	4 900	8 700
哈萨克斯坦	1 400	3 500			
加拿大	500	3 000	世界总计[1)]	18 000	48 000

1）原数据取整。资料来源：Mine Commodity Summaries，2008。

澳大利亚、中国、美国和哈萨克斯坦 4 个国家的储量合计占世界锌储量的 57% 左右，占世界储量基础的 66%。世界现有锌储量和储量基础分别只占锌资源量的 10.5% 和 23.6%，说明全球锌勘查潜力仍较大。

已知的锌矿物大约有 55 种，其中大约 13 种锌矿物有经济价值。闪锌矿（ZnS）是最富含锌的矿物，占锌总产量的 90% 左右，重要的锌矿物还包括纤锌矿、异极矿、菱锌矿、水锌矿、红锌矿、硅锌矿等。

世界勘查和开采铅-锌矿的主要类型：喷气沉积型（Sedex 型）、密西西比河谷型、砂页岩型、黄铁矿型、夕卡岩型、热液交代型和脉型等，其中以前 4 类为主，它们占世界总储量的 85% 以上，尤其是喷气沉积型，不仅储量大，而且品位高，世界各国均很重视。一些学者（如 D. P. Sangster，M. W. Hitzman 等）把过去称为“锌的氧化物”矿床，命名为“非硫化物锌矿床”（Nonsulfide Zinc Deposit），并于 2003 年出版了该类矿床的专辑，指出由于湿法冶金技术的新发展，使这类矿床又成为引人注目的勘查靶区，而且会成为 21 世纪潜在的锌金属来源，据统计，这类矿床的储量大约占世界已知锌储量的 10% 左右。

近年世界铅-锌矿有较大发现的矿产地：1）巴西阿里普阿南（Aripuana）铅-锌-银矿，已获推定和推测资源 2 374 万 t，含锌 5.07%、铅 1.81%、银 52.96×10^{-6}，即铅-锌合计的资源量有 163.33 万 t；2）阿根廷南部的纳维达德（Navidad）银-铅矿床，已获铅资源量 140 万 t，银 10 560 t；3）墨西哥佩纳斯基多（Penasquito）银-金-铅-锌矿，近年钻探储量已增至银 27 430 t，金 455 t，铅 240 万 t，锌 710 万 t，为世界级的银-金-铅-锌矿区；4）据近年报道，俄罗斯赤塔西北的奥泽尔锌矿床目前推定总资源量 1.57 亿 t，含锌 5.2%、铅 1%，即含有铅-锌资源 973.4 万 t；5）格陵兰雪铁龙湾，矿石资源量 10 170 万 t，锌品位 4.2%；6）加拿大育空地区，塞尔温资源公司进一步勘查塞尔温（Selwyn）地区，已获锌资源量 830 万 t，铅资源量 290 万 t。

2 开发和生产

1996—2006 年，世界锌矿山生产格局发生了较大变化。中国在世界矿山产量中所占份额从 16% 增加到 28%；加拿大的份额从 15% 减少到 6%，由于贝尔阿拉尔（Bell Allard）、纳尼齐维克

黄金地质研究所
信息室 提供

(Nanisivik)、波拉里斯(Polaris)和沙利文等大型矿山相继关闭，加拿大锌矿山产量也大幅下降；澳大利亚 10 年来一直保持 13% 的生产份额；秘鲁由于安塔米纳(Antamina)矿山的投产使得所占份额增加到 11%；欧洲所占份额则从 14% 下降到 10%。

2006 年，世界开采锌矿的国家有 38 个(有统计数据的国家)，锌矿山产量为 1 060.80 万 t，比 2005 年增长 4.8%，西方世界锌矿山产量 667.59 万 t，同比下降 0.3%(表 2)。世界锌矿山产量的增长主要得益于中国、印度和哈萨克斯坦等国锌矿山产量的大幅增加。世界矿山锌生产大国主要有中国、澳大利亚、秘鲁、加拿大和美国等，年产量均在 60 万 t 以上。此外，矿山锌产量较多的国家还有印度、墨西哥、哈萨克斯坦、爱尔兰、瑞典、巴西、俄罗斯、玻利维亚和波兰等，年产量均在 10 万 t 以上。

中国是世界最大的锌矿生产国。2006年，中国的锌矿山产量为 299.60 万 t，比 2005 年增长 17.6%，占当年世界锌矿山产量的 28.2%。中国锌矿产量主要集中在云南、甘肃、内蒙古、湖南、四川、广西、广东、陕西、青海、福建和辽宁等省(区)。

表 2 世界矿山锌产量 锌/万 t

国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%	国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%
中 国	239.12	254.78	299.60	17.6	俄罗斯	17.90	18.60	17.80	−4.3
澳大利亚	133.50	136.70	136.40	−0.2	玻利维亚	14.59	17.27	17.27	0.0
秘 鲁	120.90	120.15	120.18	0.0	伊 朗	11.40	16.70	16.40	−1.8
美 国	73.90	74.80	72.70	−2.8	波 兰	14.03	13.56	13.56	0.0
加拿大	79.14	66.67	63.80	−4.3	摩洛哥	6.81	7.93	7.26	−8.4
印 度	34.71	47.72	53.55	12.2	朝 鲜	6.20	6.50	6.80	4.6
墨西哥	42.38	47.33	47.66	0.7	南 非	3.20	3.21	3.44	7.2
哈萨克斯坦	40.40	40.50	45.00	11.1	日 本	4.78	4.15	0.72	−82.7
爱尔兰	44.41	42.86	42.57	−0.7	其 他	52.48	54.19	56.57	4.4
瑞 典	19.70	21.57	21.00	−2.6	世界总计	975.45	1 012.26	1 060.80	4.8
巴 西	15.90	17.07	18.52	8.5	西方国家总计	648.51	669.63	667.59	−0.3

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

自 20 世纪 80 年代以来，澳大利亚始终是世界重要锌矿生产国，世界排名第二。2006 年，澳大利亚的锌矿山产量为 136.40 万 t，比 2005 年下降 0.2%，2006 年，产量占当年世界锌矿山产量的 12.9%。

20 世纪 90 年代初，秘鲁由于经济、政治原因，产量出现波动。自 1992 年以来，秘鲁的产量稳步增加，成为世界排名第三的生产国。2006 年，秘鲁锌矿山产量为 120.18 万 t，基本与 2005 年持平。近 2 年秘鲁锌矿山产量停滞不前，主要是一些锌矿山的储量耗尽，导致矿山停产及矿山锌矿石品位下降等原因造成的，今后几年秘鲁将会有一些锌矿山建成投产，因此，锌矿山产量将会逐步增加。

加拿大是世界主要锌矿生产国之一，20 世纪 90 年代中期以前一直雄居世界排名之首。近几年由于加拿大大量矿山关闭导致了矿山产量逐年下降。2006 年，加拿大锌矿山产量为 63.80 万 t，比 2005 年下降了 4.3%，产量世界排名居第 5 位。尽管近些年一些新矿山包括布沙尔特-赫伯特(Bouchart-Hebert)、兰洛伊斯(Langlois)和拉龙德(La Ronde)先后投产，但这些新增产量尚不足以抵消已关闭矿山带来的产量损失。

2006 年，美国锌矿山产量为 72.70 万 t，比 2005 年下降 2.8%。占当年世界矿山产量的 7%。2006 年，美国锌矿山产量下降的主要原因是“红狗”矿山矿石品位下降。

据国际铅、锌研究小组资料，目前国外锌矿开采主要集中在 10 家大的采矿公司，2006 年，这 10 家公司开采的锌矿占世界产量的比例达 44.4%(表 3)。

2006 年，世界精炼锌产量为 1 058.98 万 t，比 2005 年增长 4.3%。西方国家产量 649.25 万 t，比 2005 年略有增长(表 4)。近 10 年来，世界精炼锌生产格局发生了巨大变化，生产中心由欧洲转移到亚洲。2006 年，中国已经成为世界最大精炼锌生产国，在世界产量中所占份额达到了 29.8%，亚洲所占份额达到 52.1%，欧洲则降到了 23.5%，加拿大占 7.8%，日本占 5.8%。韩国 10 年前在世界精炼锌生产国中默默无闻，2006年则已经跃升

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 2006 年世界十大锌矿公司

公 司	国 家	锌矿产量/万 t	占世界产量的份额/%
泰科-科明科(Teck-Cominco)	加拿大	66.00	6.6
澳大利亚金属矿业(Zinifex)	澳大利亚	60.00	6.0
嘉能可(Glencore)	瑞 士	59.50	5.9
印度斯坦锌业(Hindustan Zinc)	印 度	49.00	4.9
超达国际资源(Xstrata)	瑞 士	47.50	4.7
英美(Anglo American)	英 国	42.50	4.2
鹰桥(Falconbridge)	加拿大	36.00	3.6
玻立顿(Boliden)	瑞 典	35.00	3.5
沃尔坎(Minera Volcan)	秘 鲁	28.50	2.8
佩诺尔斯工业集团(Industeias Penoles)	墨西哥	22.00	2.2
总 计		446.00	44.4

资料来源：Brook Hunt/ILZSG。

表 4 世界精炼锌产量 锌/万 t

国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%	国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%
中 国	251.94	277.61	315.30	13.6	荷 兰	22.40	22.45	22.72	1.2
加拿大	80.54	72.40	82.45	13.9	比利时	25.70	22.00	25.10	14.1
韩 国	66.87	64.48	66.25	2.7	法 国	26.75	21.00	12.00	−42.9
日 本	63.46	63.84	61.43	−3.8	俄罗斯	25.33	20.60	24.73	20.0
西班牙	52.51	50.14	50.28	0.3	秘 鲁	19.57	16.59	17.53	5.7
澳大利亚	47.00	45.70	46.40	1.5	波 兰	15.50	13.73	13.39	−2.5
墨西哥	33.44	33.40	27.94	−16.3	挪 威	14.09	15.13	16.07	6.2
哈萨克斯坦	27.95	33.80	32.80	−3.0	意大利	11.84	12.13	10.92	−10.0
德 国	38.20	33.50	31.68	−5.4	南 非	10.50	10.40	9.00	−13.5
美 国	30.50	35.10	26.90	−23.4	其 他	101.51	98.21	96.77	−1.5
巴 西	26.60	26.65	27.23	2.2	世界总计	1 016.04	1 015.48	1 058.98	4.3
印 度	23.84	26.62	42.09	58.1	西方国家总计	667.64	644.65	649.25	0.7

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

至世界第三，所占份额已达 6.3%。世界精炼锌产量较多的国家主要有中国、加拿大、韩国、日本、西班牙、澳大利亚、哈萨克斯坦和德国等，它们的年产量均在 30 万 t 以上。

2006 年，世界各大洲的精炼锌产量增长幅度较大的地区主要是亚洲，增产 51.44 万 t，欧洲和美洲则分别减产 5.40 万 t 和 1.55 万 t。2006 年，精炼锌产量增产较多的国家有中国、印度、加拿大、俄罗斯和比利时等。2006 年，减产最多的国家是法国和美国，分别减产 9.00 万 t 和 8.20 万 t。

中国为世界最大精炼锌生产国，2006 年，生产精炼锌 315.30 万 t，比 2005 年增长 13.6%，占当年世界精炼锌产量的 29.8%。2001—2006 年的 5 年间，中国锌产量增长了 54.7%。中国锌产量已经连续 11 年位列世界第一。2006 年，精炼锌产量较多的省份：湖南、云南、辽宁、陕西、广西、甘肃、四川、河南和广东 9 省（区），其产量合计占全国总产量的 89.7%。近年来，由于大量资金投入到锌冶炼行业，使得我国锌冶炼能力大幅度增长。其主要原因一是为了适应国家产业政策的要求，对一些小企业改造，使产能扩大；其二就是为了开发利用本地铅、锌资源而新建锌冶炼厂。

加拿大为世界第二大精炼锌生产国，诺兰达公司和泰科-科明科有限公司是其主要精炼锌生产公司。诺兰达公司 2006 年生产了 31 万 t 精炼锌，比 2005 年增长了 14%。

据美国锌贸易公司估计，目前世界每年消费的锌中，再生锌占 30%，数量约 300 万 t 左右；据国际锌协会估计，目前西方国家每年消费的锌总计在 650 万 t 以上，其中 200 万 t 来自锌废料；美国 2006 年回收生产再生锌约 13.9 万 t，占美国精炼锌产量的 51.7%。中国再生锌产量低，2006 年再生锌产量 11 万 t，只占全国精炼锌产量的 3.5%，与发达国家差距甚大。

3 用途和消费

锌的主要消费领域是镀锌板，约占西方国家锌消费量的 50%。第二大消费领域是制造黄铜，约占锌消费量的 20%。第三大领域是铸造合金，约

黄金地质研究所
信息室 提供

占锌消费量的 15% 左右。锌的其他消费领域还有轧制锌材和锌氧化物等。

2006 年，世界精炼锌消费量为 1 084.15 万 t，比 2005 年增长了 3.9% （表 5）。其中：西方国家精炼锌消费量 719.75 万 t，同比增长了 3.2% 。

世界精炼锌消费大国（或地区）主要有中国、美国、日本、德国、韩国、印度、比利时和意大利等，年消费量均在 30 万 t 以上。

表 5 世界精炼锌消费量 锌/万 t

国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%	国家或地区	2004 年	2005 年	2006 年	2006 年较 2005 年增长比例/%
中 国	255.12	298.90	311.53	4.2	加拿大	18.52	17.32	17.92	3.5
美 国	119.00	105.00	115.00	9.5	英 国	15.01	16.17	16.17	0.0
日 本	62.12	60.17	59.78	−0.6	墨西哥	14.77	14.13	14.08	−0.4
德 国	54.88	51.40	56.40	9.7	土耳其	14.38	13.89	14.00	0.8
韩 国	42.00	44.29	50.75	14.6	荷 兰	14.60	9.35	12.24	30.9
印 度	35.32	38.88	44.41	14.2	泰 国	14.39	12.44	11.71	−5.9
比利时	40.41	34.50	36.00	4.3	秘 鲁	11.68	8.75	10.81	23.5
意大利	36.59	39.50	31.26	−20.9	波 兰	10.17	7.57	10.03	32.5
中国台湾	34.24	30.63	28.17	−8.0	印度尼西亚	8.66	8.33	9.60	15.2
澳大利亚	25.20	23.91	27.95	16.9	南非和纳米比亚	8.87	9.55	8.96	−6.2
法 国	25.20	27.10	24.92	−8.0	其 他	91.52	107.15	106.16	−0.9
西班牙	26.56	26.00	24.00	−7.7					
巴 西	23.89	21.80	22.38	2.7	世界总计	1 020.51	1 043.37	1 084.15	3.9
俄罗斯	17.41	16.64	19.92	19.7	西方国家总计	714.77	697.42	719.75	3.2

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

2006 年，世界精炼锌消费量比 2005 年增加了 40.78 万 t。其中亚洲精炼锌消费量增加 21.07 万 t，增幅 3.8% ；占世界增加量的 51.7% ；欧洲、大洋洲和美洲的消费量则分别增长了 1.5% ，15.5% 和 6.63% 。2006 年，精炼锌消费量增加较多的国家或地区主要有中国、美国、韩国、印度、德国、澳大利亚和俄罗斯等；消费量下降幅度较大的国家或地区主要有意大利、中国台湾、法国和西班牙等。

中国是世界最大精炼锌消费国，2006 年，精炼锌消费量为 311.53 万 t，比 2005 年增长 4.2% ，消费量净增加了 12.63 万 t。随着中国经济持续增长，中国建筑业、汽车工业和空调制造工业的需求强劲，导致镀锌板消费领域锌需求大幅增长。但是由于近几年国内市场锌价高涨抑制了锌需求的增长，因此，2006 年锌消费量的增速明显放慢，比 2005 年低了 13 个百分点。中国锌的工业消费主要集中在 3 个方面：一是镀锌，约占锌消费量的 50% ；二是黄铜炼制，约占锌消费量的 20% ；三是合金，占锌消费量的 15% 左右，其他消费领域还有锌材和锌氧化物等。中国锌的最终消费构成如下：建筑 45% ，运输 26% ，一般工程 7% ，日用品和电器 22% 。近 2 年国内锌需求的高速增长主要是得益于钢板中镀锌板比例的快速上升，随着镀锌板产量的高速增长，中国锌消费也呈现出持续增长的势头。

美国是世界第二大精炼锌消费国，2006 年精炼锌消费量 115 万 t，比 2005 年增长了 9.5% 。2006 年，美国锌的视消费量中有 56% 消费于镀锌板领域，22% 消费于锌基合金，16% 消费于黄铜青铜冶炼，6% 用于农业、化工、颜料和橡胶工业中的锌化合物和锌粉等。

欧洲是世界重要的锌消费区，2006 年，精炼锌消费量 267.97 万 t，比 2005 年增长 1.5% 。由于德国、俄罗斯、荷兰和波兰等国的需求旺盛，从而使该地区的消费量有较大幅度增加。

2006 年，世界锌的最终用途与 2005 年相比没有大的变化，其主要消费领域是镀锌，约占锌消费量的 50% ，其次是制造青铜和黄铜，约占精炼锌消费量的 18% ，第三大领域是铸造合金，约占锌消费量的 13% 左右，化学制品用锌占 8% ，中间产品用锌 6% ，其他占 5% 。如果根据市场各种消费渠道来分，建筑业占 48% ，交通运输占 23% ，机械设备制造占 10% ，耐用消费品占 10% ，基础设施（铁路、公路、水库等）建设占 9% 。但具体到各国的情况并不相同（表 6）。

4 贸易和市场

从世界范围来看，目前每年大约有 40% 的锌

黄金地质研究所
信息室 提供

表 6 2006 年西方主要锌消费国的消费构成 所占比例/%

消费形式	德国[1),2)]	意大利	英 国[2)]	日 本	美 国
镀 锌	27.8	15	49.5	60.4	55.8
压铸合金	9.8	10.7	19.5	10.2	21.5
黄铜、青铜	12.8	66.8	13.1	15.5	15.5
轧制锌材	36.5	2.4	1.4	0.5	
锌氧化物	10.9	4.8	10	4.6	
其 他	2.3	0.3	6.5	8.8	7.2
总 计	100	100	100	100	100

1）指精炼锌和再生锌；2）为 2004 年数据。资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

精矿被投放到国际市场，年进出口贸易量大约有 700 万 t 锌金属量。欧洲是全球最主要的锌精矿进口地区，年进口金属量 200 万 t 左右，精炼锌贸易呈现大进大出的格局，年进出口量都在 100～130 万 t；美洲是世界最主要的锌精矿出口地区，年出口 160～180 万 t。世界较为重要的锌精矿出口国有澳大利亚、秘鲁、美国、加拿大、墨西哥、西班牙、爱尔兰和玻利维亚等。

目前，世界锌精矿年进口量超过 30 万 t 的国家有 5 个，日本和韩国因为资源贫乏，成为世界最主要的锌精矿进口国，进口量分别占其需求量的 90% 和 100%。韩国近年来锌冶炼能力增长迅速，从 2002 年开始超过日本，成为世界最大的精矿进口国。这 2 个国家在世界范围内广泛地建立原料基地和供应同盟，一般和西方国家签订 3 年以上的长期供应合同。日本和韩国进口的锌精矿主要来自澳大利亚，少部分从加拿大、秘鲁和美国进口。中国已经成为世界第五大锌精矿进口国。由于国内锌冶炼能力远大于矿山开采能力，国内生产的精矿很难满足国内市场需求，供应缺口只能依靠进口来解决。中国从 2000 年开始成为精矿的净进口国，2006 年进口锌精矿 83.76 万 t，主要来自澳大利亚和秘鲁。

2006 年，世界精炼锌出口贸易量为 353.71 万 t，比 2005 年增长 7.3%。主要出口国有加拿大、中国、荷兰、西班牙、韩国、澳大利亚、墨西哥、挪威、秘鲁、俄罗斯和波兰等（表 7）。2006 年，精炼锌出口量增加较多的国家主要有中国、加拿大、荷兰和俄罗斯等，而出口量下降较多的有澳大利亚、西班牙、法国、韩国和墨西哥等国。

表 7 世界精炼锌贸易进出口量 锌/万 t

出口国或地区	2004 年	2005 年	2006 年	进口国或地区	2004 年	2005 年	2006 年
加拿大	61.41	52.74	62.91	美 国	79.90	66.78	72.70
中 国	22.41	12.34	32.54	德 国	24.87	24.58	31.30
荷 兰	26.89	27.06	30.63	中国台湾	34.38	30.94	28.60
西班牙	29.45	33.40	27.02	意大利	27.31	26.12	22.90
韩 国	32.01	26.14	21.46	荷 兰	19.09	13.95	20.15
澳大利亚	15.94	26.77	18.85	法 国	10.30	14.35	17.03
墨西哥	18.90	19.36	14.77	英 国	14.19	13.69	11.91
挪 威	12.74	13.47	13.85	印度尼西亚	8.70	8.43	7.42
秘 鲁	7.89	7.85	8.54	比利时	26.12	4.65	7.39
俄罗斯	9.76	4.77	7.53	土耳其	14.39	13.92	7.29
波 兰	7.07	7.49	6.23	新加坡	1.83	1.23	6.33
新加坡	12.85	5.51	4.90	韩 国	7.15	5.95	5.96
法 国	11.54	8.05	3.20	日 本	4.24	4.59	4.07
比利时	13.68	1.01	1.33	马来西亚	4.53	13.28	3.51
其 他	87.37	83.71	99.95	其 他	93.21	98.13	101.83
世界总计	369.91	329.67	353.71	世界总计	370.21	340.59	348.39

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

2006 年，世界精炼锌进口贸易量为 348.39 万 t，比 2005 年增长 2.3%。主要进口国和地区有美国、德国、中国台湾、意大利、荷兰、法国、英国、印度尼西亚、比利时、土耳其、新加坡和韩国等。2006 年，精炼锌进口量增加较多的国家和地区主要是德国、荷兰、美国、新加坡、比利时和法国等，进口量减少较多的国家和地区主要有马来西亚、土耳其、意大利和中国台湾等。美国是世界上

黄金地质研究所
信息室 提供

最大的锌精矿出口国，也是最大的精炼锌进口国。美国国内锌精矿产量的 98% 来自阿拉斯加、密苏里、纽约和田纳西州，其中产量的一半来自阿拉斯加州的“红狗”矿山。2006 年，美国出口锌精矿 82.5 万 t，进口锌精矿 38.3 万 t，净进口锌精矿 44.2 万 t；进口精炼锌 85.1 万 t。进口精矿主要来自秘鲁 67%、墨西哥 14%、爱尔兰 9%、澳大利亚 9%、其他地区 1%；进口的精炼锌主要来自加拿大 64%、墨西哥 17%、澳大利亚 4%、其他地区 15%。

自 20 世纪 90 年代以来，中国一直是锌的净出口国；但从 2004 年开始，中国的锌市场发生了根本性的变化，锌出口量明显减少，进口量显著增加，成为锌的净进口国，引起全球瞩目。2006 年，中国进口精炼锌 31.82 万 t，出口精炼锌 32.54 万 t，净出口 0.72 万 t，又成为精炼锌的净出口国。由于 2006 年国内需求转疲，而同时锌产量增加，市场供应充足，再加上国内市场锌价低于出口价，导致精炼锌出口量的增加，从而使中国从净进口国变成净出口国。

2006 年底，世界商业总库存量 49.23 万 t，比 2005 年减少了 29.1 万 t（表 8），其中伦敦金属交易所（LME）库存量为 9.1 万 t，比 2005 年减少了 30.2 万 t。美国战略储备锌 1.53 万 t，比 2005 年减少了 2.98 万 t。2006 年的大部分时期，LME 报告库存持续下降，支持了市场锌价的持续上涨。

表 8 世界锌库存量 锌/万 t

库存所在地	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
伦敦金属交易所	73.98	62.86	39.26	9.05
各国库存量	39.83	37.03	38.94	40.18
世界商业总库存量	113.81	99.89	78.29	49.23
美国战略储备	10.42	7.18	4.51	1.53

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

最近几年，西方国家没有明显的矿山产能投入，因此库存精矿已经基本耗竭，冶炼厂只能依赖新生产的精矿，而新生产的精矿增加有限，不能满足冶炼厂的需求。根据世界金属统计局数据，精矿市场已经连续 5 年供应短缺（表 9）。

2006 年，锌以其突出的市场表现成为国际有色金属市场的明星。2006 年，国际市场锌价继续 2005 年的上涨势头。1 月 LME 现货平均价为 2 090.31美元/t，4 月就已经涨至 3 084.78 美元/t，3 个月价格上涨了 47.6%；5 月锌价进一步上涨至 3 565.69 美元/t。之后至 9 月，锌价一直在 3 300美元/t 上下波动，从 10 月开始，国际市场锌价再一次开始暴涨，从 9 月的 3 403.02 美元/t 暴涨至 12 月的 4 405.39 美元/t，一个季度内价格上涨了 29.5%。2006 年，LME 最高现货价为 4 619 美元/t（11 月 24 日）；年均现货价格 3 272.62 美元/t，比 2005 年上涨 136.9%；3 个月期货最高 4 585美元/t（11 月 10 日），年平均价 3 249.48 美元，比 2005 年上涨 133.3%。无论实际价格还是平均涨幅都是几十年来极为罕见的（表 10）。

表 9 近几年锌精矿市场供求平衡情况 锌/万 t

	锌	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
西方国家	锌矿山产量	643.14	669.41	975.45	1 012.26	1 060.8
	精炼锌产量	655.88	659.49	667.64	644.65	649.25
	精炼锌消费量	715.71	688.91	714.77	697.42	719.75
	供求平衡	−59.83	−29.42	−47.13	−52.77	−70.5
世界	锌矿山产量	889.43	957.46	648.51	669.63	667.59
	精炼锌产量	966.96	990.27	1 016.04	1 015.48	1 058.98
	精炼锌消费量	928.52	973.25	1 020.51	1 043.37	1 084.15
	供求平衡	38.44	17.02	−4.47	−27.89	−25.17

资料来源：World Metal Statistics，March 2008。

2006 年，中国国内锌价的变动紧密跟随 LME，5 月 12 日之前一直是单边上涨，1#锌锭每吨平均价格从年初的 17 000 元持续涨到 5 月 12 日最高36 500元。随着 LME 锌价调整，国内 1#锌锭价格从 5 月 13 日到 6 月 20 日持续回落，最低曾经回调到24 600元/t，之后逐步回升。下半年国

黄金地质研究所
信息室 提供

表 10 锌市场价格

年 份	LME 现货年平均价格/(美元·t^{-1})	2006 年月份	LME 现货月平均价格/(美元·t^{-1})	2007 年月份	LME 现货月平均价格/(元·t^{-1})
1995	1 030.8	1	2 090.31	1	3 786.68
1996	1 025.03	2	2 219.38	2	3 309.50
1997	1 313.27	3	2 416.91	3	3 271.30
1998	1 023.26	4	3 084.78	4	3 557.47
1999	1 077.32	5	3 565.69	5	3 380.29
2000	1 128.11	6	3 225.68	6	3 603.26
2001	886.27	7	3 339.86	7	3 546.91
2002	778.56	8	3 347.30	8	3 262.52
2003	828.39	9	3 403.02	9	2 881.4
2004	1 047.83	10	3 822.95	10	2 975.33
2005	1 381.55	11	4 382.23	11	2 541.32
2006	3 272.62	12	4 405.39	12	2 353.08

资料来源：World Metal Statistics，March 2007，2008。

内价格弱于同期 LME 价格，大部分时间 1＃锌锭价格在 30 000～33 000 元之间。2006 年，1＃锌锭平均价格为 27 187 元，比 2005 年涨 101.3%，涨幅小于国际市场。

2006 年年末，LME 锌价调整，2007 年 1 月，现货平均价跌至 3 786.68 美元/t，3 月底跌到了 3 271.30美元/t，3 个月内下跌了 25.7%。

造成 2006 年锌价暴涨的主要原因是国际市场精炼锌连续 3 年供不应求，西方国家则连续 6 年供不应求，2006 年，西方国家精炼锌供应缺口高达 70.5 万 t，由此推动了锌价的持续上涨。此外，亚洲需求，特别是中国需求非常旺盛（中国 2005 年 27 万 t 的精锌净进口），加剧了全球原料供应紧张状况，对锌价的上涨起到了重要的推动作用。此外，大量基金把锌作为 2006 年重点炒作的品种，也对 2006 年锌价的暴涨功不可没。

5 展 望

2007 年，世界经济仍将保持继续上升态势，但增速将进一步趋缓。锌需求增长有可能放慢，但随着大量锌生产能力的投产以及生产能力的扩大将导致锌供应量增加，国际市场供应短缺状况将得到缓解，甚至可能出现供应过剩，从而将促使锌价逐步回落。

世界锌的消费结构不会发生大的变化。镀锌业一直是锌的最大消费领域。随着汽车工业和建筑业对镀锌钢板、铜管及其他零部件需求的增加，锌的应用将有广阔前景。

亚洲仍将是世界精炼锌需求增长的主要地区。近 2 年锌价的暴涨刺激了锌矿山生产能力的新增和扩大，而精炼锌生产能力也将扩大，因此，今后几年锌的矿山产量增加、精炼锌产量和精炼锌消费量均将进一步增加。

摘自《2006—2007 世界矿产资源年评》