

国外 白银、伴生金回收

专 辑

《国外黄金参考》编辑部编



GUOWAI BAIYIN BANSHEGJIN HUI SHOU ZHUANJI

冶金部情报标准研究总所

337
24
1

国外 白银、伴生金回收 专辑

《国外黄金参考》编辑部译

一九八六年八月

为把我国白银、伴生金产量搞上去，以满足国民经济发展的需要，根据有色金属总公司计划部的要求，我们收集、翻译和编辑出版“国外白银、伴生金回收专辑”，内容包括地质、矿物鉴定与分析、采矿、选矿和冶炼工艺，以及技术经济指标。可供生产、科研、设计和教学等单位的工程技术人员参考。

参加本书翻译工作的有：李丁炎、董智慧、徐雪明、方以规、邓乃达、秋实、马耀华、李新伟、朱烨、周宁、刘汉钊、张兴仁、许鹏秋和郭硕朋。参加校对工作的有：李文、董智慧、邓乃达、金梓、田福纯、朱烨、宗海祥和黄孔宣，全书由黄孔宣审校。正文设计夏南。

目 录

地 质 勘 探

苏联银矿床.....	(1)
中天山岩浆建造的含银性.....	(10)
火山岩金-银矿的地球化学类型	(16)
斑岩铜矿矿石的矿物-地球化学类型及其含金性和分带性	(27)
低品位级金矿的采样实用方法研究及金矿储量的评价.....	(36)

矿物鉴定与取样分析

银的矿物学及其在金属提取中的意义.....	(40)
芒特艾萨的银矿物学及其冶金意义.....	(58)
铜精炼厂阳极泥的矿物学.....	(60)
理想的金矿取样量和分析试样粒度.....	(63)

采 矿 技 术

墨西哥西部中央地带的银矿开采.....	(71)
芒特艾萨铜和铅锌矿石的开采.....	(79)
潘古纳布干维尔铜矿石开采.....	(89)
芒特里叶尔铜矿开采.....	(91)
坦纳特克里克铜和金矿开采.....	(93)
芒特摩根有限公司的铜-金矿石开采.....	(94)
罗斯伯利铅锌矿.....	(96)
澳大利亚布罗肯希尔铅锌矿开采.....	(99)
北布罗肯希尔铅锌矿的开采.....	(102)

选 矿 工 艺

布伦瑞克矿冶公司加强银的回收.....	(107)
处理含贵金属硫化矿的经验.....	(116)
用于处理黄铁矿型多金属硫化矿的反浮选工艺.....	(123)
应用二氧化硫提高多金属硫化矿浮选的选择性.....	(126)
从拉克奥尔多金属硫化矿中回收贵金属.....	(131)
Løkken Gruber选矿厂工艺流程的改进	(137)
处理含银多金属矿石的工艺流程.....	(140)
布干维尔铜选矿厂的改造.....	(142)
基德·克里克选矿厂工艺流程的改进.....	(143)

铅-铜精矿无氰分离工艺的改进.....	(146)
玻利维亚采用联合工艺处理复杂铅-锌-锡矿石.....	(148)
提高铜矿石的综合利用程度.....	(149)
提高多金属矿石原料的综合利用程度.....	(151)
Pennfloat 3——浮选硫化矿的一种有效捕收剂.....	(154)
浮选有色金属和贵金属硫化矿的有效捕收剂.....	(156)
金的浮选行为.....	(159)
埃斯卡兰蒂银选厂的设计.....	(162)
艾萨山铅锌银矿选矿.....	(163)
罗斯伯里铅锌矿选矿.....	(166)
新布罗肯希尔铅锌矿选矿.....	(169)
北布罗肯希尔铅锌矿选矿.....	(170)
布罗肯希尔锌公司铅锌矿选矿.....	(172)
帕千维尔铜矿选矿.....	(174)
芒特·莱尔铜矿选矿.....	(177)

冶 炼 工 艺

复杂硫化矿冶金学.....	(181)
银精矿的湿法冶金处理.....	(188)
焙烧锌精矿时银的行为.....	(197)
用含水氯化物氧化体系浸出复杂的硫化物精矿.....	(203)
从波卑昂银矿的氰化浸出液中电沉积银.....	(208)
用氯化物浸出法从韦尔瓦铜冶炼厂的烟道灰中回收铜、银和锌.....	(211)
国外几家银矿的生产.....	(217)
阿拉康达的达尔文银回收工程中的制粒堆浸.....	(224)

附 录

生产成本比较
金银回收率比较
世界银矿储量
美国、加拿大银生产来源
1840~1884年世界各国银生产量
1885~1929年世界各国银生产量
1930~1983年世界各国银生产量



苏联银矿床

银的工业富集有两种矿化类型：一种是浸染状银矿化，银以外加物的形式赋存在不同的矿床中；另一种是富集成以银为主的银矿床。

由于银在水介质中迁移能力强，因此在各种大地构造条件下形成的硫化物矿床中的银呈浸染状产出。在内生银矿床形成期间，由于银和金、铜、铅在结晶化学性质、性能方面都非常相似，这样就决定了银和这些元素在溶液中一起迁移，也就决定了银与铜矿床、金矿床，铅锌矿床天然密切共生。在外生银矿形成期间，由于成矿环境是还原环境，各种吸附和生物化学作用决定了银在含铜砂岩中、泻湖和三角洲页岩中具有选择性沉淀作用。

浸染型的银矿床，一般含银不太富。如在铜矿床中含银为3~5ppm；在金和铅矿床中含银为100~500ppm。但是，这种银矿工业价值是巨大的。据统计，世界大约91%的银储量是赋存在各种成因的铅锌矿、铜矿和金矿床中。

当热液中的银量大大增加时，银会形成以银矿为主的天然富集。这种银也是一种有重要开采价值的银矿资源之一。含银建造是热液作用最后阶段的产物，在近地表条件下产生的。主要赋存在次火山侵入岩和火山岩相中。一般地说，银在这些矿体中沉淀是和它的天然伴生元素金、铅、铜呈浸染状集合体产出。然而，由于银活动性强，一些地球化学性质如化合价、氧化还原特点以及在溶液中迁移的形式不同，银在各种矿石中是有明显差异性的。

虽然热液作用能使原岩中的银很富，一般为500ppm~20~30公斤/吨，但相对还是少的，仅占银储量的9%。

浸染状银矿床

苏联具有开采价值的浸染状银矿化主要赋存在不同内生矿床中。

岩浆矿床中的银矿 银主要赋存在铜镍硫化物矿石中。这类矿石中含银非常低，总的来说，银的平均含量一般不超过 6.6 ± 3.8 ppm，如诺里尔斯克岩浆铜镍矿床含银为10.8ppm，科拉岩浆铜镍矿床平均含银为1.35ppm。

统计表明这类矿石中银的富集几乎取决于铜的含量。铜为1%的矿石，在不同矿床中含银量是相似的，如科拉岩浆铜镍矿床含银为1.8克，诺里尔斯克岩浆铜镍矿床含银为3.0克。一般规律是矿石中铜和银明显的赋存在一起。在单个矿床中铜含量增加，银的浓度也加大。

M. Vorob'eva 指出诺里尔斯克矿床早期磁黄铁矿中含银量一般比较低（1.8~6.7ppm）。而在晚期的铜矿中含银量猛增，如黄铜矿中含银为25ppm；硫铜铁矿中含银为131ppm。

铜镍矿石中的银，一般是呈附加形式产在晚期含铜矿物中如黄铜矿、六方硫镍矿、

镍黄铁矿等，含银可达26~260ppm。在早期共生矿物中如黄铁矿、磁黄铁矿等含银量少，有意义的也不多。矿石建造形成最后阶段，含银量明显的增加，有银矿物出现如银碲矿、针碲金银矿等碲化物。但在大多数情况下常常形成一些金银合金的矿物如银金矿、金银矿等。

云英岩矿床中的银 银在变质的云英岩矿床中的分布与在含稀有金属石英云英岩脉中的分布有很大的不同。前者，在含钽的脱玻花岗岩或含有钨矿的变质云英岩中，银呈浸染状赋存在最后阶段的矽酸盐中，含银少，一般为0.5~1.0ppm，没有什么意义。但在含钽、锡和钼的石英云英岩脉中银的含量有时是很高的，可达232ppm。中哈萨克和东外贝加尔地区这类矿床统计平均值为 31.8 ± 29.4 ppm。

在石英云英岩矿床中，对银沉淀最有利的地质体是晚期富含铋、铅和铜的硫化物矿物。显然与这些元素的地球化学有关。银和这些元素常常赋存在黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿中。它们含银量分别为37~133ppm，375ppm，87~210ppm，1240~2770ppm。银主要以银辉铅铋矿、银黝铜矿、硫铋铜银矿、深红银矿及其他银矿物形式出现在这些矿物中。在黄铁矿和黄铜矿中常常含有微量的银的碲化物如碲银矿、针碲金银矿等。

在石英云英岩钨矿床中的银，矿石中铋含量高，单矿物中银的含量也高。特别是在富铋的方铅矿中银的浓度明显的增加，含银可达1.5~3.4%。在斜方辉铅铋矿和硫铋铅矿中，含银为2.0~2.5%。

矽卡岩矿床中的银 银在这类矿床中主要赋存在硫化物矿石中，含银为0.2~138.0ppm。如，在与酸性或似玄武岩浆侵入体有关的铜矿石和铜磁铁矿石中银的平均含量为7.1~9.4ppm；在与花岗岩浆有关的花岗闪长岩金-砷矿石中，含银为19.0ppm；在与小型花岗闪长岩侵入体有关的铅锌矿石中，含银为65.6ppm。

根据博伊尔1968年的资料，在矽卡岩铅锌矿床中，世界各国有开采价值的银含量各不相同。如加拿大含银为140~283ppm；墨西哥为620~849ppm；苏联的矽卡岩型铅锌矿床中银的含量比较低。如苏联远东特尔提亚矽卡岩铅锌矿床中含银量为126.0ppm，平均含量为 69.7 ± 15.7 ppm；中亚的赫尔西尼矽卡岩铅锌矿床含银为138.0ppm，平均值为 62.4 ± 30.3 ppm。

矽卡岩铅锌矿中的银矿化，具有典型的浸染状矿化特点，矽卡岩控制了银的沉淀。在方铅矿中含银为 152 ± 55.2 ppm，闪锌矿中含银为 192 ± 176 ppm，黄铁矿中含银为 126 ± 36 ppm，在黝铜矿中含银特别高，可达2100ppm。此外，这类矿床中的黄铁矿、黄铜矿和黝铜矿分别含有银的碲化物，铜-银硫酸盐类，自然银、辉银矿、淡红银矿、脆银矿、深红银矿等。

黄铁矿型矿床中的银 银的含量与该类型矿床中的铜和铅的含量相关。乌拉尔地区黄铜矿中含银一般为 22.1 ± 5.0 ppm~ 33.0 ± 16.2 ppm。高加索和阿尔泰鲁德伊地区的铜-铅-锌矿床中含银量可达 59.5 ± 22.0 ppm。

根据浸染状银矿化出现的强度，乌拉尔和阿尔泰海西期黄铁矿床中含银量几乎与加拿大地盾、澳大利亚地台前寒武纪最老的黄铁矿床或太平洋成矿带新生代年轻的黄铁矿床中含银量差别不大。前者含银量最大值为117.8~363.8ppm；后者，加拿大林弗隆，诺兰达和基德克雷科黄铁矿床含银为140ppm，澳大利亚地台芒特艾萨黄铁矿床含银为

217ppm, 太平洋成矿带乌奇努泰、塞罗第帕斯科新生代黄铁矿床含银分别为140ppm和113.0ppm。

乌拉尔黄铁矿床中银的富集主要与一种叠加的铜-锌矿化有关。1970年卢特科夫认为, 这种矿石黄铁矿中含银一般为70ppm, 有时形成少量的银金矿、碲银矿、针碲金银矿、白碲金矿包体以及自然银、辉银矿、银黝铜矿。据统计, 乌拉尔地区黄铁矿床中银的富集程度不同。浸染状银矿化银平均含量为5.4ppm, 银:金=8.3, 在黄铜矿中每1%的铜, 含银量为4.7克, 银:金=9; 在复杂的铜锌矿石中, 每1%的铜, 含银量为12.0克, 银:金=12.8。

在黄铁矿型矿床中银的浓度的演化, 在铜-铅-锌矿床达到最大值。高加索和阿尔泰成矿省铜-铅-锌矿床广泛发育。巴拉诺夫认为, 按银的矿化发育强度, 这些地区的黄铁矿床中银的分布是不均匀的, 整个地区特征是: 高加索与阿尔泰地区的黄铁矿床几乎有半数黄铁矿床含银都很低。高加索地区黄铁矿床中平均含银为 33.0 ± 16.2 ppm, 每1%的铅矿石中含银为20.7克, 银:金=27.1。阿尔泰鲁德伊地区银平均含量为 59.5 ± 22.0 ppm, 每1%的铅矿石含银为32.7克。

A. Garmash和V. Baranov鉴定阿尔泰黄铁矿中银的特征时指出, 主要含银矿物是黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿。它们分别含银为 116 ± 37 ppm, 162 ± 40 ppm, 119 ± 64 ppm, 680 ± 198 ppm。除此之外少量的黝铜矿也含有银。这些矿物有时含银可达9360ppm。阿尔泰地区的银实际上是很均匀地分布在矿石中, 从磁黄铁矿到铅-锌矿石都含有银。然而, 银的最大含量是产在重晶石-多金属矿石中。在阿尔泰地区黄铁矿床中银矿化具有典型的浸染状特点, 常常形成少量的银矿物主要有自然银、银金矿、辉银矿和各种银的碲化物(碲银矿、针碲金银矿、碲金银矿等。有时也形成复杂的银-铜硫化物和碲的硫酸盐类。

热液型矿床中的银 在过去许多世纪, 热液型矿床中的银是主要的富银资源。该类型矿床中银的浓度演化系列范围比较宽。在内生硫化物铜矿床含银较低一般为0.3ppm如美国的密执安铜矿; 在深成低温热液锌矿床中以及斑岩铜矿中银最低含量为3.0ppm, 如苏联的库拉陶, 美国的密西西比-密苏里、派因蓬因特等低温热液锌矿床; 苏联的库拉德、多勒尼、卡扎哈兰, 美国的伊利、阿霍、拉耶等矿床等斑岩铜矿床。在银-铅、银-金和银-砷化物矿床中含银量可达600~20000ppm如美国的佩鲁、墨西哥的帕朱卡、加拿大的科博尔特等矿床。

深成热液矿床中的银很重要的特征是具有典型的分散形式, 银的含量一般不超过30~850ppm。这些矿床也往往是工业上主要产银资源。苏联有开采价值的热液型银矿床主要有三种即: 斑岩铜矿型、金矿型和铅-锌矿床。这三种热液银矿床银的产状、含量都彼此不同。

次生石英岩中的细脉分凝铜-钼矿床中的银(所谓斑岩型铜矿) 该类型矿床中含银非常低, 一般银的含量为0.3~3.0ppm, 最大含银量为28.0~85.0ppm。然而, 这种类型矿床中银也是重要的一种银资源如美国的佩鲁铜矿中银占出口的50%。根据每1%的铜矿中含银比铜镍矿富二倍, 几乎等于含铜砂岩中含银量(表1)。

苏联斑岩型铜矿中银的分布具有下列特征: 每1%的铜矿中银平均含量为7.76克, 银:金=10。在个体矿床中Ag: Au变化范围为3~77。但各地区各不相同如阿美尼亚第

三纪年青的斑岩铜矿中比阿萨克地区的斑岩铜矿床以及中亚西亚斑岩铜矿床中的含银高的多。前者每1%的铜矿含银量为120克，银：金=35。而后者每1%的铜矿银的含量为5.8克，银：金=7.4。

许多学者认为，铜-钼富集作用控制了银在黄铜矿、方铅矿、硫砷铜矿、斑铜矿、砷黝铜矿和其他晚期共生矿物中银的沉淀。前两种矿物中含银量分别为10~300ppm，260~700ppm。斑岩铜矿中标型银矿物有：自然银、银金矿、金和银的碲化物（如碲银矿、碲金银矿、针碲金银矿和白碲金银矿）、硫铁银矿。黄铜矿黄铁矿和方铅矿都含有银的碲化物，银的碲化物分布很广。自然银一般赋存在晚期砷黝铜矿-硫砷铜矿中。这个矿化期是在斑岩铜矿形成的最后阶段。

苏联各种成因铜矿床银平均含量统计值

表 1

矿床类型	矿床地球化学类型	矿床数	含银量 (PPM)			每1%的铜银平均含量	** Ag: Au	矿床实例
			$\bar{x}$	$\pm \lambda \bar{x}$	S			
岩浆矿床	铜-银	10	6.6	3.8	12.8	3.2	15	塔尔纳克 日丹诺夫斯克 塞米莱斯卡
砂卡岩型矿床	铜	7	7.1	/	/	4.7	14	图林斯克
	铜-磁铁矿	6	9.4	/	/	1.8	21	萨彦科
	铜-钼	4	8.7	1.9	3.9	6.0	47	格拉非尔 于利亚麦德纳亚 基亚采科乌曾
热液型矿床	斑岩铜矿	10	5.1	2.5	4.1	7.8	10	卡扎哈米
	脉状铜矿	4	11.5	8.2	8.4	4.7	/	库拉德 卡尔马基尔
黄铁矿型矿床	黄铜矿	85	22.1	5.0	19.9	10.1	11	加亚，锡巴 乌查尔
* 沉积型矿床	含铜砂岩	8	13.6	5.0	7.3	9.2	/	杰兹卡兹甘 乌多坎

注：* 包括层状矿床； $\bar{x}$ ：平均含量； $\pm \lambda \bar{x}$ ：确定平均值方面的精确度；S：标准偏差。

** 原文为银：铜，但全文全是银：金可能印错，译者注。

金矿床中的银 银在金矿床中的含量很容易变化，但对银沉淀最有利的地质体还是金矿床。深成成因的金矿床中含银相对是比较低的，从2~110ppm。这种金矿床与花岗岩闪长岩有关。靠近地表与火山作用有关的金矿床中含银量明显的增长可达500ppm或更多。其成因是与似玄武质安山英安岩有关。

深成成因的金矿床有两种类型：即金石英矿床，平均含银为 16.5 ± 6.9 ppm，银：金=1.25；另一种是金硫化物矿床，银平均含量为 58.4 ± 18.7 ppm，银：金=9.5。前者，银主要以银金矿和银的碲化物（如：碲银矿、针碲金银矿、碲金银矿）微包体形式产在金矿中；后者，以银金矿和银的碲化物包体形式产在金矿的硫化物中。苏联这两种深成成因的金矿床在许多金属成矿省中广泛发育。

苏联深成成因的金矿床中银的含量从古生代老的金矿床到中生代年轻的矿床逐渐减少。据统计乌拉尔布利亚特、哈萨克古生代金矿床银平均含量为33.1~79.0ppm，银：金=2.4~3.3。太平洋成矿带年青的深成成因的金矿床中含银量一般较低，如阿

尔丹地盾含银量为7.5ppm, 苏联东北部含银量为5.2ppm, 外贝加尔地区含银为11.9ppm。在这些地区银的含量往往比金的含量低, 银:金=0.5~0.9。

铅-锌矿床中的银 银在铅锌矿床中选择性沉淀明显地是在特殊的大地构造条件下。这类矿床中的银也是主要的原生银矿资源之一。许多学者都指出: 在与各种花岗岩类有关的铅锌矿中银的含量是很低的, 特别是在碳酸盐岩层控制的矿床中含银更低。如美国的派因蓬因特矿床、苏联的库拉陶矿床含银为3~283ppm。在沙利文-布罗肯希尔型变质矿床中含银量的增加一般在40~850ppm。近地表的铅锌矿床含银较高如美国的森新、波拉里斯等含银可达600~1800ppm, 有的含量更高。

苏联对个别成矿省中的银的地球化学特征没有进行详细的研究, 仅仅研究了一般的分布模式, 从平均统计值进行解释评价。

苏联深成成因的铅-锌矿床中银的分布, 根据124个矿床的统计资料有下列特征: 每1%的铅, 含银量平均为30.5克; 一般情况下这种类型的矿石中含银为 118.7 ± 39.9 ppm; 银:金=90.5。

人们认为苏联中生代-新生代年青的铅锌矿中银的平均背景值都比较高, 特别是太平洋成矿带近地表的铅-锌矿床中含银特别高(表2)。该区铅-锌矿床中含银量比高加索、外高加索、中亚细亚以及哈萨克中部同时代的铅-锌矿床中的银含量高10~15倍。在相同的岩系中年青的铅-锌矿床每1%的铅, 含银为56.0~85.4克, 而在哈萨克、中亚细亚年老的(古生代)铅-锌矿床中含银量则降低到16.4~18.9克。这些数表明银的含量不但与矿床时代有关, 而且也于地区有关。

混合类型的铅-锌矿床, 随着铋、锡、铊的增加银的含量也增加。在韦尔霍杨斯克一些地区、外贝加尔东部一些地区, 该区的铅锌矿床广泛的含有硫化铋, 矿石中银的含量

苏联各成矿省铅-锌矿床中含银量统计值

表 2

成 矿 省	统 计 的 矿 床 数	银含量 (ppm)			每1%的 铅, 银 平均含 量(克)	银:金
		$\bar{x}$	$\pm \lambda \bar{x}$	S		
哈 萨 克 中 部	20	45.3	15.2	35	16.4	54.6
中 亚 细 亚	29	70.4	30.4	101	18.9	48.6
高 加 索、外 高 加 索	20	38.9	14.2	32	16.9	25.0
外 贝 加 尔	27	165.8	53.9	135	35.4	126.0
远 东 地 区	12	239.3	97.3	179	56.0	1
苏 联 东 北 部	16	567.2	266.7	333	64.4	可达2000

注: $\bar{x}$: 平均含量; $\pm \lambda \bar{x}$: 确定平均值方面的精确度, S: 标准偏差。

可高达800~2000ppm, 同时每1%的铅含银量增加为170~800克。东克拉玛扎许多铅锌矿床中富含铜、铋, 该矿石中银的平均含量为 277.5 ± 215.2 ppm。普里莫尔、雅

苏联铅-锌矿床主要成矿矿物中含银量统计平均值

表 3

矿床类型	围岩	方铅矿 (ppm)			闪锌矿 (ppm)			黄铁矿 (ppm)		
		$\bar{x}$	$\pm \lambda \bar{x}$	S	$\bar{x}$	$\pm \lambda \bar{x}$	S	$\bar{x}$	$\pm \lambda \bar{x}$	S
高温矿床	矽酸盐岩	1032	333	565	70	38	51	30 *		
	碳酸盐岩	2035	422	811	182	54	100	156	91	167
中温矿床	矽酸盐岩	2559	785	2120	194	101	330	178	155	2329
	碳酸盐岩	236	140	226	76	52	70	9 *		

注: $\bar{x}$: 平均含量; $\pm \lambda \bar{x}$: 确定平均值方面的精确度; S: 标准偏差; *: 一次测定。

库特、外贝加尔等地区复杂铅锌锡矿床中和新安奇类型的矿床中锡和铅的硫化物发育, 银的平均含量为 135.5 ± 58.2 ppm。一般讲, 银的复杂硫化物主要赋存在这类矿床中。

可是铅-锌矿床中的含银量是在不同的温度和岩石学条件之下形成的(表3)。经研究铅锌矿床中银的大量的富集主要在中温矿床中, 产在矽酸盐围岩中。主要矿物如方铅矿、闪锌矿和黄铁矿中。这些矿物中的含银量比高温矿床、高温层状矿床相比要高2~3倍。有时在铅-锌矿床成矿硫化物中形成单独的银矿物如金和银的碲化物、自然银、辉银矿等。

在形成这些矿石最后时期, 银的复杂硫化物与黝铜矿和含铅的硫辉锑矿共生。这时的铅锌矿区域矿物特征是: 银黝铜矿、硫锑铜银矿、淡红银矿、深红银矿普遍发育。同时含少量的硫银铋矿、铋银矿等。

沉积矿床中的银 在沉积矿床中, 吸附作用和生物化学作用都对银的沉淀起作用。在近地表条件下这些因素对银的富集起的作用更大。1968年博伊尔已证明在煤层、沥青页岩中这些金属的含量常常增加。矿化页岩中已分析出大量的银。在苏联西南部含铀砂岩中含银达566ppm或更高。

在苏联含铜砂岩中, 银主要赋存在沉积岩韵律层中, 并常常含有些层控成因的元素, 银的含量比较少, 平均值在 13.6 ± 5.0 ppm(表1)。不同矿床中银的含量变化范围从4.0~25.77ppm。尽管银的地球化学与铜的地球化学类似, 但银的分布是非常不均匀的。

含铜砂岩主要矿石类型中含银量不同于其他矿石类型: 在黄铁矿-黄铜矿石中含银量一般不超过5.0~11.4ppm, 在辉铜矿-斑铜矿中含银量为30.9ppm, 有时达166.0~263.0ppm。但在含铜砂岩主要成矿矿物中含银量的差异性就特别突出如: 在闪锌矿中含银为0.73ppm, 在方铅矿中为30~62.9ppm, 在斑铜矿中为350~769ppm, 在辉铜矿中为660~2600ppm。在脉型再沉积块状矿石中含银达到极大值。含铜砂岩中典型银矿物是自然银、辉银矿、铋银矿和硫铜银矿。

银矿床实例

现在已知的银矿床主要与晚期热液作用有关，大多数银矿床赋存在复杂的建造中并常常与其他工业金属伴生。研究岩浆成矿演化系列，在各种成矿期含银的金属络合物是很广泛的（表4）。在前寒武纪地台和地盾与似玄武岩浆有关矿床中，银主要和镍、钴产在一起，形成大型的银-砷化物矿床如加拿大的科博尔特；挪威的康斯堡等。在古生代和中生代地槽区与花岗岩类侵入体有关的矿床如银-砷化物和银-铅矿床中银和铀、铋、铅共生如捷克斯洛伐克的乔致莫尔；德意志民主共和国的波雷贝里；美国的森新矿床。在中生代-新生代成矿期年青的次火山岩矿床主要与次火山侵入体和流纹岩、安山岩、英安岩岩系等火山岩有关。在金-银矿床、锡-银矿床中银一般主要与金、铅和锡一起沉淀，如墨西哥的帕丘卡；美国的托诺帕、科姆斯洛克；苏联的哈卡兹哈、瓦卢尼斯洛等。

银矿床分类

表 4

矿床形成条件	类 型			
	银-砷化物	银-铅	银-金	银-锡
大地构造环境	地台 地盾 海西期造山运动中央地块	海西期和中生代、 新生代造山运动区	青年火山活动带， 阿尔卑斯造山运动区和活动带	年青火山成矿区
岩浆岩	前寒武纪辉绿岩岩床，晚海西期花岗岩侵入体	浅成相小型花岗岩类侵入体	安山岩-英安岩-流纹岩火山岩	第三纪斑状侵入体、火山岩相（英安岩、石英流纹岩、闪长斑岩等）
典型矿物共生组合	镍和钴的砷化物（复砷镍矿、砷钴矿、斜方砷钴矿、红砷镍矿、辉砷镍矿等）、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、自然铋等	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、毒砂、黝铜矿、含铅的硫辉锑矿（脆硫锑铅矿、硫锑铅矿、车轮矿）	毒砂、黄铁矿、石英、黝铜矿、蔷薇辉石、菱锰矿、冰长石、冰长石；有时还有方铅矿、闪锌矿、铋矿	锡石、黄铁矿、辉锑矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、车轮矿、黝铜矿、辉铋矿、黑钨矿。
标型银矿物	自然银、锑银矿、辉银矿、硫铜银矿、硫锑铜银矿、脆银矿、深红银矿	深红银矿、辉银矿、硫锑铜银矿、自然银、异辉锑铅银矿、脆银矿、硫铁银矿、淡红银矿、砷硫银矿、银金矿、碲银矿	辉银矿、深红银矿、脆银矿、自然银、银金矿、金和银的碲化物	硫锑铅银矿、硫银铋矿、深红银矿、硫锑银矿
含银量	6~30PPm	700~20PPm	600~1800PPm	300PPm或更高些

续表 4

矿床形成条件	类 型			
	银-砷化物	银-铅	银-金	银-锡
主要工业成分	银、镍、钴、铀、铋	银、铅、锌、铜	银、金	银、锡
矿床实例	加拿大： 科博尔特、南洛林、 艾克、莱克、贝尔 莱克； 挪威：康斯 捷克斯洛伐克： 乔阿希姆斯塔尔； 德意志民主共和国： 贝尔哥弗雷达特、 施密德贝尔哥、弗 雷贝尔哥、安纳贝 尔哥、施奈贝尔哥 等。	苏联： 坎德中尔、阿尔泰 斯克、乌斯特泰尔 梅克、曼加泽； 美国：森新、波拉 里斯； 墨西哥： 埃尔波托塞、埃尔 奥罗、 波兰： 万查卡、科尔基吉 尔等。	墨西哥： 贝塔-马德雷、帕 丘卡； 美国：托诺帕、科姆 斯洛克；苏联：哈 卡兹哈、瓦留尼斯 洛； 日本：科农曼、蒂 托塞； 罗马尼亚： 萨萨尔； 捷克斯洛伐克： 克雷米卡等。	玻利维亚： 波托塞、奥鲁罗、 佐巧亚、皮拉基达 斯基。

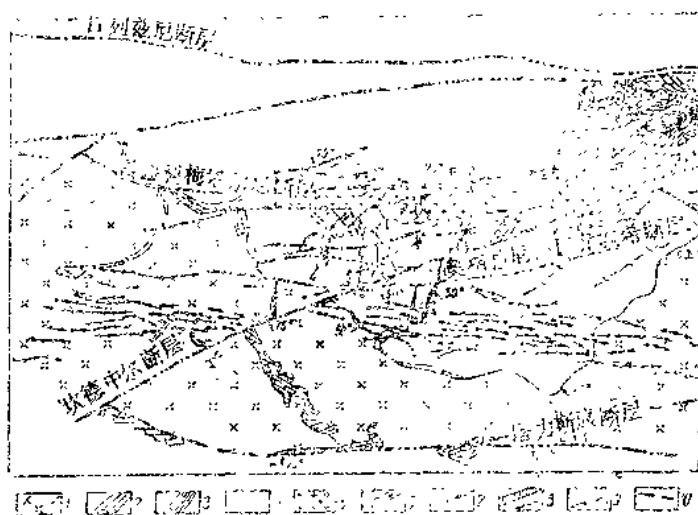
目前，苏联开发的银矿主要有两种类型：一种是银-铅型。该类型与深成花岗岩岩浆有关，具有典型的褶皱特点；另一种是银-金型。该类型主要与年青的安山-长英火山岩有关。

银-铅型银矿：银-铅型银矿实际上就是铅-锌矿床的一种，其不同点就是含银量丰富，有时也形成自然银。该类型银矿往往由许多特有的银矿物组成，这些银矿物决定了矿石的工业价值。

产在铅-锌矿化带内的银-铅型银矿，与花岗岩类侵入体有关，是具有深成成因的特征。苏联主要银-铅型银矿床有：天山中带库拉明斯克复背斜海西期银矿床，韦尔霍扬斯克科雷马褶皱系中的晚白垩纪银-铅型银矿床以及东贝加尔以银为主的银矿床。

国外主要银-铅型银矿床有澳大利亚的塔斯马尼亚州的马格尼特矿山、朗德山等。它们主要产在塔斯曼地球化学带中；分布在太平洋成矿带中生代-新生代成矿区内的银-铅型银矿床有美国的森新、波拉里斯矿床，墨西哥的埃尔波特塞、埃尔奥罗，秘鲁的科尔基吉雷。它们的银平均含量为1500ppm，但在个别的矿床富集地段中银的含量可高达6000~20000ppm。坎德中尔矿床是苏联的银-铅型银矿床典型代表，其特征如下：

坎德中尔矿床：位于库拉明斯克山脉的东南坡，该区是一个大地垒，受卡拉马扎、雷德科梅塔尔尼和比尔优佐维区域断层控制（见图）。矿化岩石是库拉明斯克花岗闪长岩，在北面该岩石被塔博沙尔花岗岩侵入体切割，并贯入在雷德科梅塔尔尼断层带中，在南面乌特克姆舒岩脉破碎带中充填有花岗正长岩、长英斑岩以及辉绿玢岩脉体。矿化带翼部由碳质砾岩和长英安山斑岩组成。



坎德中尔银-铅型银矿田地质图

- 1 火山沉积建造 (C_2); 2 石灰岩 (D_3-C_1); 3 粘土砂页岩 ($O-T_1$); 4 库拉明斯克花岗闪长岩 (C_3-P_1); 5 塔博沙尔花岗岩 (P_1); 6 石英斑岩和长石斑岩; 7 长英玢岩; 8 含金石英脉; 9 含银多金属矿脉; 10 断层构造。

坎德中尔矿田有两种银矿类型: 矿田的西部雷德科梅塔尼断层以早期的金-银矿化为主。矿化与早期的石英斑岩、石英长英斑岩 (C_3-T_1) 复杂脉岩有关。这些脉岩一般填充在北西向和近子午线方向的节理中。主要由富银的硫化物组成。在岩脉断层泥中常常伴生有无价值的石英质和钾长石质花岗闪长岩和塔博沙尔花岗岩。金-银矿化的时代为早二叠纪。矿田的东部坎德中尔断层带以晚期的银-铅矿化为主。主要是富含银的石英硫化物矿脉 (硫化物70~80%, 石英10~20%)。矿脉在空间上和时间上都与花岗正长岩、长英岩以及辉绿斑岩有关。属于早三叠纪卡拉马扎成矿期。是卡拉马扎成矿期重要矿床。银-铅型银矿脉主要产在走向为北东向的断裂中, 矿带中常常有强烈的角砾岩化和碳酸盐化作用, 矿化宽度达20米。

坎德中尔断层的上盘银铅矿化较强, 特别是在紧邻乌特克姆舒岩脉地段矿化最强。密集的矿脉主要赋存在坎德中尔断层陡倾斜的羽毛状节理中, 有时也产在奥格拉尼奇瓦尤施希和雷德科梅塔尼断层中。矿体呈不规则板状。矿化范围达50米到1公里。

坎德中尔银-铅型银矿床具有深成成因的正常沉积特征。矿石是在漫长而间断的条件下形成的。矿化分布非常广泛, 矿化深度达12.5~1500米。主要矿物组分是石英-碳酸盐-硫化物, 其中石英为10~20%, 碳酸盐5~10%, 硫化物为70~80%。主要银矿物有: 深红银矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、辉银矿、自然银。伴生的非银矿物主要有毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黝铜矿等。矿化早期的石英-毒砂矿物共生组合通常是富铋的。主要铋矿物有辉铋矿、辉铅铋矿等。晚矿化期主要是铜矿物, 它们含银量为: 黄铜矿为220~300ppm, 硫锑铜矿为2~20%。在矿化最后阶段主要是石英-碳酸盐-深红银矿组合, 此阶段含有丰富的银的硫化物如深红银矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、针碲金银矿和淡红银矿等。此外还含有少量的银金矿、砷辉银矿、辉银矿和自然银。这些银矿物以细脉和包体的形式与斜方砷钴矿一起形成有意义的堆积。除斜方砷钴矿之外还有铁、锰

碳酸盐（如菱铁矿、菱锰矿）以及铁白云石等。

坎德中尔银矿床氧化带深度为150米，上部常常是铁、锰的氢氧化物。下部是氧化矿物。银主要以角银矿、自然银、辉银矿的形式出现在氧化带中；氧化带中的褐铁矿、硬锰矿、软锰矿和粘土矿物含银量比淋滤带大15倍。

银-金型银矿床 这类银矿床是与青年的安山英安火山作用有关。主要分布在苏联的东北部各成矿省中。该处的鄂霍次克——楚克特卡火山岩带广泛的分布有银-金型的银矿床。该矿主要特点是具有典型的近地表矿床特点，在时间上和空间上与周围的火山建造有关。一般地说矿床时代比较年青。锰的碳酸盐发育。银、金分布很不均匀。

根据1968年西多罗夫和奈波罗丁的分类，产在鄂霍次克——楚克特卡火山岩带中的银-金矿细分可划分为三种类型。即：金-深红银矿、金-闪锌矿-方铅矿和卡拉姆肯型的金-硫辉锑矿。其共同特点是含银很丰富，但是在这些银矿床中银的发育强度是不同的。

（1）金-辉银矿和深红银矿银矿床， $Ag: Au = 100$ 主要银矿物有银金矿、辉银矿、深红银矿、硫锑铜银矿、淡红银矿等。有时还有脆银矿和砷硫银矿等。

（2）金-黄铁矿-毒砂和方铅矿-闪锌矿型的银矿床 $Ag: Au = 10-1$ 。主要银矿物与金共生，这是该类型银矿床的主要特点。

鄂霍次克——楚克特卡火山成因的银-金矿床按其形成条件和矿床类型与美国中新世流纹岩有关的银-金矿床类似。这类矿床除美国之外，日本、罗马尼亚也有。但它们的含银量一般在600~1800ppm。

李丁炎 摘译自《Ore Deposits of The USSR》 李文校

中天山岩浆建造的含银性

中天山岩浆建造中金、铜、铋、铅、锌、氟的潜在含矿性和储量是人所共知的。这一点被大量表明该建造对上述这些元素的地球化学专属性和成矿专属性的岩石地球化学资料和矿物学资料所证实。

虽然在所研究的区域里很早就知道有独立的银矿化点和银矿床，但岩浆岩对银的地球化学专属性在文献中阐述得并不多。可能，银矿化作用与深成作用和火山作用产物的精确关系并不总是能查清楚的。

区域岩浆作用的主要特点总结如下：全部岩浆生成物都属于贝加尔、加里东和海西旋回的产物。卡累利阿褶皱山脉（角闪岩和强变质的超基性岩）的岩浆作用（关于它们的成分和原始环境，我们还没有得到确切的报道），也与更年轻的中生代和新生代岩浆作用一样，暂时还都没有确定。

岩浆活动的贝加尔旋回在区内呈现为大纳伦组的岩石（流纹岩、流纹英安岩），现在从该组中又分出了一个热尔嘎拉乞组（粗面玄武岩、粗面英安岩）。该旋回的大部分岩浆岩属于花岗岩类岩石（上古生代的闪长岩-斜长花岗岩建造、花岗片麻岩建造）。

加里东期岩浆作用分布较少，这是因为该区位于北天山优地槽的边缘部位的缘故。它主要是一些分布在恰特卡尔山、其次在库拉马山（卡桑河、阿拉布卡河、阿尔马雷克

河流域)的志留纪花岗岩建造、花岗闪长岩建造、闪长岩-花岗闪长岩建造和淡色花岗岩建造。加里东构造带的火山成因产物分布不广,呈现为奥陶纪粗面玄武岩和粗面安山岩建造(普斯克姆河流域)和早泥盆纪粗面玄武岩-粗面安山岩-流纹岩建造(苏姆萨尔河流域、卡桑河流域、阿杭格朗河流域等)的一些单独的岩墙和岩床状的岩层。

海西期岩浆作用出现最广,可分出以下本质不同的岩浆作用类型:а)恰特卡尔带的地槽期后造山带型,它由属于真正深成组合的深成和中深成相的花岗岩类组成(C_2 — P_1 的闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩建造、花岗岩-淡色花岗岩建造);б)、含复杂火山建造岩系(粗面玄武岩建造、粗面玄武岩-粗面安山岩建造、玄武岩-安山岩-英安岩建造和流纹岩建造)的库拉马带边缘地台造山带型,它出现在从 C_2 到二迭纪末和三迭纪初这段时间内。该带岩浆作用最主要的特点是与上述深成作用类似的火山岩有明显的联系,这些火山岩是辉长岩-二长岩-正长岩建造(C_2 ; P_1),闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩建造,花岗岩建造。较晚的海西期后的岩浆作用在该区暂时还没有发现,虽然在某些地区它们是可能存在的(加瓦河流域)。据黑云母测定的粗面英安岩的年龄变化范围为43至150百万年,而塔什库梅尔山的生成时代是老第三纪以前的(P_7)。

银的某些普遍的地球化学特征 C. T. 巴达洛夫注意到了Ag在分散状态时的亲铁性,并且指出了银在陨石中的含量要比它在地壳中的平均值高30倍。因此铁族元素就被看成是可能具有实际意义的目标。

铁-镍陨石或金属相的特点是Ag的浓度相当高(见表)。随着镍-镍相的变化(铁陨石、铁-石陨石和石陨石),可发现银含量的变化。通常,铁和银的这种关系是正相关的。石陨石按其矿物成份与地球上的超基性和基性岩类有许多共同之处,区别仅在于含有少量铁-镍相杂质。

铁-银对偶关系的实质对揭示岩浆建造含银的原因具有重要的地球化学意义,铁-银元素对偶的特点是:1)它们的原子半径(V_a)的差别比较小——1.26 和 1.44Å; 2)

陨石、中天山某些矿物和岩浆岩中的银含量

表 1

物样、地物	银,克/吨	研究者	物样、地物	银,克/吨	研究者
陨石: 铁陨石	3.3~5.0	Гольдшмит В. М.	碳硅石	0.02	
石陨石(球粒陨石)	0.075~1.0	Виноградов А. П.	石榴石	0.05	
硫化物相	21	Гольдшмит В. М.	地壳	0.07	Виноградов А. П.
陨石平均	13		金伯利岩; 汤霍特-阿林的麦美奇岩	0.01	Моисеев В. Г.
矿物: 自然铁(取自球粒陨石)	5	Гольдшмит В. М.	纯橄榄岩-斜方橄榄岩建造岩石	0.0035	"
自然铁(取自玄武岩)	5~10		辉长岩-橄榄岩建造岩石	0.0043	"
自然铁(取自中天山花岗岩类)	7		辉长岩-斜长花岗岩建造岩石	0.015	"
自然铁(取自中天山钾碱性玄武岩类)	0.18		含硫化物的辉长伟晶岩	0.055	"
Хамрабаевит	0.21		含硫化物的橄长岩	0.018	"
硅三铁矿	0.15		苏长岩-角闪橄榄岩建造岩石	0.0058	"
镍碳铁矿	1.0				

阴离子介质接近1(1.04); 3)两种金属都具有弱正电性(Fe^{+2} —185, Ag^{+} —175千卡/克-大气压); 它们相关的共价百分比接近100; 4)在天然条件下含有做为对偶元素的银; 5)一般条件下在铁-银系列组分之间相互没有联系, 在此基础上也没有二元化合物。

在天然条件下铁被看成是银的最主要的沉淀剂。这种反应是在硫含量有限的条件下(铁陨石和其他类型陨石、某些深成岩浆岩类型), 以及在铁和硫的浓度同时都达到过饱和的体系中(陨石的硫化物相及其他)进行的。在硫过剩的条件下铁沉淀银, 并在这一体系相应的硫化物中(陨硫铁、黄铜矿、黄铁矿)形成呈杂质形式的银含量的较高本底值。同时, 在硫化物矿床中由深部向地表、由较早的矿物向较晚的矿物, 其银含量将逐渐增大, 直至形成独立的银的硫化物。

但是在岩浆岩中银的自然形态比较少见。自然银和金银矿的形成与以Ag的地球化学专属性为特征的酸性和超酸性含氟浅深侵入体的发育有关。自然银的形成与所谓最细小的“电子液”滴在接近银的沸点(961°C)时的结晶作用有关。根据巴达洛夫的意見, 岩浆岩中自然银的存在是由银的硫化物的分解、矿物在此环境中的稳定程度、硫和氯的不足, 以及氧的存在所造成的。有关这点可由一系列高压的、假定为“地幔的”矿物中Ag和Fe含量之间明显的联系(见表1)得以证实。

如在加瓦赛地蛭发现有自然银、银和铁的硅化物或硅三铁矿的含银变种, 以及含银的自然铁, 它们分别含有5.7、21.8和96.3重量百分比的铁和0.18~10克/吨的银。在这些矿物中Fe含量的增长是与杂质银的增长相适应的。在其他高压无铁矿物(碳硅石、石榴石等)中实际上没有杂质银(小于0.05克/吨)。

中天山侵入建造中的银 该区的加里东期花岗岩类具有最低的含银值, 岩石中这样低的Ag含量可能与加里东期花岗岩类形成的中深成和深成条件有关, 那里的环境比较稳定, 水的分压力 $P_{\text{水}}$ 较高。在这样的条件下, 银的原始含量分散在围岩、造岩矿物和副矿物之中, 因此不利于它在岩浆期后作用中的积聚。

银在库拉马山脉侵入建造岩石中的分布情况

表 2

建造种类、时代	样品数	平均值, 克/吨	金/银比值
辉绿岩-花岗岩建造($T_2-T_1?$)	11	0.12	180
花岗岩-白岗岩建造(P_2-T_1)	16	0.15	93.8
辉长岩-二长岩-正长岩建造(P_1)	194	0.016	2.4
花岗闪长岩-花岗岩建造(P_1)	59	0.048	20.8
辉长岩-闪长岩-花岗闪长岩建造(C_2)	290	0.042	7.8
闪长岩-斜长花岗岩-花岗岩建造($S_2-D_1?$)	59	0.010	4.6

银在海西期侵入建造中的分布情景较为复杂。这里分成两个建造组: 第一组是辉长岩-闪长岩-花岗闪长岩建造(卡拉马扎尔杂岩)、花岗闪长岩-花岗岩建造(安格连高原、萨塔尔陶等地 P_1 的花岗岩类)和花岗岩-白岗岩建造(恰尔卡萨尔、阿拉姆坦和沙依丹等地的花岗岩类); 第二组是辉长岩-二长岩建造的岩石(P_1)。从被应用的资料中可以看出, 在正常系列的花岗岩类(第一建造组)中, 从基性到酸性其银含量是逐渐增长的(0.01~0.11克/吨), 并且以高于克拉克值的金属含量为特征(图2)。已经查