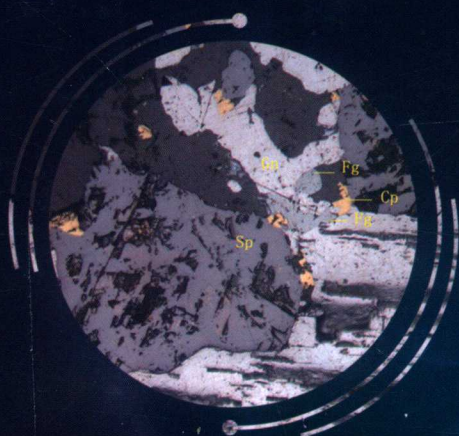


有色金属伴生银矿石学

YOUSE JINSHU BANSHENGYIN KUANGSHIXUE

■ 王静纯 余大良 著



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

有色金属伴生银矿石学

王静纯 余大良 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2018

内 容 提 要

本书主要内容包括银的供需态势及有色金属伴生银的矿床类型和分布；银成矿作用中的地球化学行为及成矿富集规律；有色金属伴生银矿石特征，包括矿石矿物组成、成矿元素分布、矿石构造、成因及工业类型与银矿化强度的关系等。该书从银的工艺矿物学研究领域，系统总结了载体矿物演化与含银性，论证了非晶态银和超显微银的矿物学特征及银的沉淀、共生与演化规律，展示并深入分析了有色金属伴生银矿的银矿物组成特点，提出了银的成因标型矿物，并结合矿山生产实际综述了银的物相分析与金属量配分，评述了影响银回收率的主要因素和提高回收率的技术措施。

本书可供从事矿床地质学、矿山地质学、矿石学及工艺矿物学的科技工作者和高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

有色金属伴生银矿石学/王静纯，余大良著. —北京：冶金工业出版社，2018. 10

ISBN 978-7-5024-7910-7

I. ①有… II. ①王… ②余… III. ①银矿物—伴生矿物—研究 IV. ①P578. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 236945 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7910-7

冶金工业出版社出版发行；各地新华书店经销；三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 10 月第 1 版，2018 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm；16.5 印张；6 彩页；336 千字；255 页

78.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题，本社营销中心负责退换)

前 言

本书以铅锌（铜）矿中伴生银的赋存规律和工艺矿物学研究以及多个矿山伴生组分查定成果为背景，经多年研究积累、提炼、综合，并参考了相关研究的最新资料，是系统深入研究有色金属伴生银矿物学的成果，可为合理利用银矿资源提供科学依据。

书中全面对比研究了有色金属伴生银矿的成矿规律，分类阐述了银在矿石中的富集、成矿与演化规律，银的赋存形式与银的多元体系，银矿物组成与成因标型矿物，特别对伴生银矿石的工艺矿物学特征、银的物相分析和金属配分等，逐一予以论述。书中以有色金属伴生银矿床矿石为重点，涉及伴生银的铅锌矿床、铜矿床、铜多金属矿床、钨锡矿床、锑铋/碲矿床、铌钽矿床、铁多金属矿床、硒铜矿床、铅锌/金铁锰矿床、钒矿床、铀铜矿床、含银铜镍矿床，以及伴生有色金属的银（金）矿床等。

本书主要有如下几个特点：

（1）概括地论述了全球范围的银矿与有色金属伴生银矿的分布规律，探讨了银在各类型有色金属矿床矿石中的富集规律。

（2）阐述了银在各种成矿作用中的地球化学行为，银在各类型有色金属矿石、主要载体矿物中的分布。评述了各类型有色金属伴生银矿石的矿物组成与分布。

（3）综述了银在成矿过程中活化、迁移、沉淀的地球化学行为，银的多元体系及银矿物共生与演化规律。特别是分析了金、银对成矿地质环境的选择与共生、分离条件。

（4）展示了我国有色金属伴生银矿及独立银矿的银矿物组成。按照伴生银矿石类型，详论了银矿物组成特点、产出概率及分布规律。

(5) 研究了银的工艺矿物学特征, 重点涵盖了银的主要载体矿物含银性与成因的关系, 银矿物粒度、嵌布特征与成因、矿化组合及成矿阶段的关系。评述了影响银回收率的主要因素及提高银回收率的技术措施。

(6) 对于以采选有色金属矿产为主业的生产矿山, 矿石中的银以产品价值衡量, 大部分不能独立开采, 而是作为副产金属综合回收, 可统称为“伴生银矿石”, 本书也采纳这种叙述方式。

本书由王静纯、余大良撰写, 参与铅锌(铜)矿中伴生银赋存规律及工艺矿物学项目的研究人员有王静纯、简晓忠、杨竞红等。

伴生银研究工作得到原中国有色金属工业总公司科技部李仪贞处长, 北京矿产地质研究所陈振玠所长、马力总工程师, 北京矿产地质研究院王京彬院长、付水兴副院长的指导与大力支持。在扫描电镜测试、微区研究及样品制备方面, 北京矿冶研究总院陶淑凤、汤集刚教授级高工, 中国地质大学施倪承教授, 桂林矿产地质研究院梁学谦高级工程师给予了诸多支持; 野外矿山地质工作得到多个矿山企业领导及地质技术人员的热情协助, 谨致最诚挚谢意。

本书的撰写不仅参考了有关专家、学者研究成果的相关文献资料, 也参考了北京矿产地质研究院、北京矿冶研究总院、桂林矿产地质研究院、广东和湖南地勘局有色地质所、广州有色金属研究院等的科研报告及研究资料。仅对有关单位和专家的辛勤耕耘致以谢忱和崇高敬意。

本书得到国土资源部公益性行业科研专项经费课题“塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律与找矿预测”(编号: 201511016) 下属第二子课题“塔西砂砾岩型铜矿床成矿特征与成矿模式”(编号: 201511016-2) 全额资助。

由于作者水平所限, 疏漏谬误之处敬请读者批评指教。

作 者

2018年6月

目 录

1 概论	1
1.1 银	1
1.1.1 银的用途与供需态势	1
1.1.2 银的地球化学性质	2
1.1.3 银的工业矿物	6
1.2 有色金属伴生银矿床类型与分布规律	7
1.2.1 伴生银矿床类型	7
1.2.2 银矿分布规律	12
1.2.3 有色金属伴生银矿的分布	14
2 有色金属伴生银矿成矿规律	17
2.1 银在成矿作用中的地球化学行为	17
2.1.1 岩浆-热液成矿作用	17
2.1.2 沉积、变质成矿作用	22
2.1.3 构造控矿作用	25
2.2 有色金属伴生银矿富集规律	30
2.2.1 脉型	30
2.2.2 斑岩型	39
2.2.3 火山岩型	42
2.2.4 矽卡岩型	48
2.2.5 沉积岩型	55
2.2.6 变质岩型	58
2.2.7 岩浆岩型	61
2.2.8 铁锰帽型	65
3 有色金属伴生银矿石特征	71
3.1 伴生银矿石矿物组成	71
3.1.1 矿石类型与矿物组成	71
3.1.2 矿石矿化组合与矿物分布	84

3.2 伴生银矿石化学组分	87
3.2.1 矿石综合研究大样化学成分	87
3.2.2 典型矿区伴生银矿石与围岩化学成分	103
3.2.3 矿石、围岩元素相关性	114
3.3 伴生银矿石构造、成因与含银性	128
3.3.1 矿石构造与含银性	128
3.3.2 矿石成因与含银性	131
3.4 伴生银矿石的工业类型	132
3.4.1 矿石工业类型与含银性	132
3.4.2 伴生银矿石的共、伴生组分	134
4 银的载体矿物	137
4.1 银载体矿物演化	137
4.1.1 脉型伴生银矿石载体矿物成矿与演化	137
4.1.2 银载体矿物演化的矿化组合制约	137
4.1.3 银载体矿物演化的成矿阶段制约	138
4.1.4 银载体矿物演化的矿液性质制约	140
4.1.5 银载体矿物演化的产状制约	141
4.1.6 银载体矿物演化的特殊实例	142
4.2 载体矿物元素含量	142
4.2.1 方铅矿单矿物的微量元素	142
4.2.2 闪锌矿单矿物的微量元素	146
4.2.3 黄铁矿单矿物的微量元素	151
4.3 载体矿物含银性	155
4.3.1 方铅矿	157
4.3.2 闪锌矿	158
4.3.3 黄铁矿	158
4.3.4 黄铜矿	158
4.3.5 毒砂	158
4.3.6 磁黄铁矿、胶黄铁矿、镍黄铁矿	158
4.3.7 黝铜矿族	159
4.3.8 其他硫化物与硫盐	159
4.3.9 某些氧化物与氢氧化物、铁锰碳酸盐	160
4.3.10 硫酸盐及其他盐类	160
4.3.11 脉石矿物	161

5 银的工艺矿物学	162
5.1 银的赋存状态	162
5.1.1 银的赋存形式	162
5.1.2 银的多元体系	176
5.2 伴生银矿石银矿物组成与演化	184
5.2.1 伴生银矿石银矿物组成	184
5.2.2 银沉淀、共生与演化	200
5.2.3 银矿物成矿演化规律	206
5.3 伴生银矿石工艺特征	208
5.3.1 伴生银矿石工艺类型	208
5.3.2 银矿物嵌布粒度	210
5.3.3 银矿物嵌布类型	213
5.3.4 银矿物赋存状态研究实例	218
5.4 银的物相分析与银金属量配分	227
5.4.1 银的物相分析	227
5.4.2 银的金属量配分	232
结语	245
参考文献	249
附录	255

1 概 论

1.1 银

1.1.1 银的用途与供需态势

1.1.1.1 银的用途

银是人类认识较早的金属之一，其发现晚于金，公元前 3000 年，国外一些地方已使用银器，拉加什（Lagash）发现公元前 2800 年前的银瓶。公元前 13~15 世纪时埃及银的价格比金还高。我国春秋时期（公元前 8~5 世纪）已有“错金银”工艺^[1,2]。银的独特而美丽的银白色及稳定的化学性质，使之成为首饰、器皿、造币业颇受青睐的原料。随着社会的进步与工业的发展，银的良好导电性，极佳的韧性和延展性，使之应用领域迅速扩展到照相、电子、国防、航天等基础与尖端工业，银作为硬通货的功能已经淡去，已成为现代工业不可或缺的金属。银的产量与消费量可作为衡量国家工业水平的重要标志之一。从美国白银消费领域和最终用途，可概略了解白银应用的方方面面，其中摄影材料和电子产品用量约占银总消费量的 66%~68%，造币和银制器皿约占 16%~17%，珠宝首饰和纪念品约占 6%~7%，还用于医药、焊料、核控制棒等。2016 年世界银币银条用银占总消费的 21%，首饰用银占 19.6%，而全球工业用银占现货需求的 55%，新增的光伏装机容量（达 70GW）用银达到 2591t，占工业用银的 14%。我国光伏行业银用量增幅最大，拉动其中银用量同比增长 37%，光伏行业将持续成为工业用银的支撑。

1.1.1.2 银的供需概况

我国是矿产开发较早、矿业发展较快的国家，银的开采历史已超过 2400 年，自《山海经》以来的史书上多有记载。分布在全国各地的采矿遗迹更是层出不穷，以银的采矿、冶炼地方命名的银山、银坑、银洞、银硐、银洞沟、银坡、银岭、银场、银沟乃至八宝山、望宝山、天宝山、多宝山、七宝山、宝山、三宝山、大宝山等地名不胜枚举。古代采银老窿以及包含“银”与“宝”等名称的地区已成为现今的找矿线索之一。

清朝末年丧权辱国的赔款条约已将中国大量白银和银元赔付给了英法美日等

列强国家，将我国银的储备洗劫一空。继之而来的连年战乱，致使解放前夕的中国白银生产几乎处于停顿状态。1949 年全国银产量仅 4.0t，据域外资料报导，1942 年中国产银 1.2t，占世界银产量的 0.016%。随着工业的发展，自 21 世纪 80 年代以来，银矿的地质勘查工作开始受到重视，有色金属伴生银矿的选冶综合利用得以加强，银的储量与产量有了明显增长。至 2000 年，中国白银产量为 1500t，至 2012 年，银产量翻了 7 倍，有色金属矿石开采量达到峰值，其中十种有色金属开采量增幅，由 2002~2013 年年均 14.5%，2014~2016 年降至 5.9%。2016 年国内白银产量 23706.9t，同比增长 9.58%（铜精矿产量同比增长 10.9%，铅精矿同比增长 3.1%）。目前我国银矿区已有千余个，银资源量十万余吨。

在中国经济自 2010 年以来由高速增长向中速增长转换的背景下，银的产量与总消费量增速放缓，高位趋稳。近年来国内与国际经济深度调整，推动矿产资源形势历史性转折，中国正处于工业化中后期的高速发展阶段，矿产资源消耗强度大，为解决工业发展的强劲需求，应积极推进矿产资源勘查与开发的全球化进程，支持深加工与创新型企业的发展，以弥补银及有色金属资源供给的不足。

1.1.2 银的地球化学性质

1.1.2.1 地球化学参数

银的原子密度 10.5g/cm³，熔点 960.8℃，沸点 2212℃，热导率（0~100℃）425W/(m·K)，电阻率（20℃）1.63μΩ·cm。在元素周期表中银位于第五周期第一副族，介于金与铜之间，具有过渡性质。Ag 的原子半径（1.445Å）、共价半径（1.34Å）和金的（1.442Å 与 1.34Å）相似或相同，银与金可呈连续的固溶体，并可形成金银碲化物。银的电负性（1.9）和电离势（7.574eV）与铜（1.8（+1）与 7.724eV）很相似，银多以硫化物或硫盐形式存在。银原子的电子构型为 4s²4p⁶4d¹⁰5s¹，失去外层电子 5s¹ 为 +1 价，因此 Ag 在自然界中的稳定价态为 Ag⁺，在强氧化条件下，可呈 Ag²⁺ 与 Ag³⁺ 出现在配合物中。Ag⁺ 的离子半径因配位数和阴离子的影响而有较大变化，可从 0.75~1.38Å^[1]。银的这些物理化学性质（见表 1-1）导致了银在热液中有较强的活动能力，几乎出现在各种有色金属和贵金属矿床中。

表 1-1 银的物理化学性质^[1]

原子序数	47	熔点/℃	960.8
相对原子质量	107.87	沸点/℃	2212
原子体积/cm ³ ·mol ⁻¹	10.3	电子构型	4d ¹⁰ 5s ¹
原子密度/g·cm ⁻³	10.5	电负性	1.9

续表 1-1

稳定同位素	Ag ¹⁰⁷ 、Ag ¹⁰⁹	离子半径/Å(12 配位)	1.26(+1)、0.89(+2)
地壳丰度/10 ⁻⁶	0.07	电离势/eV	7.574
地球化学电价	0、+1、+2	还原电位/V	Ag ⁺ →Ag, 0.7996
原子半径/Å(12 配位)	1.445	离子电位	0.79(+1)、2.25(+2)
共价半径/Å	1.34	EK 值	0.60(+1)

银的浓集系数可以银在矿床中最低可采品位与银在地壳中的丰度的比值来确定。将银的最低可采品位定为 100g/t，银金属需浓集 1000 倍才能达到富集成矿并进行开采，银的浓集系数为 1000。金以 3g/t 品位为最低开采品位，则浓集系数为 6000。铅矿以 1%为最低可采品位，则浓集系数为 600。锌矿以 3%定为最低可采品位，则浓集系数为 600。铜矿和富铜矿分别以 0.5%与 1%定为最低可采品位，浓集系数为 50 与 100。某些元素的浓集系数见表 1-2。

表 1-2 某些元素的浓集系数^[3]

元素	克拉克值/%	最低可采品位/%	浓集系数	元素	克拉克值/%	最低可采品位/%	浓集系数
Si	27.6	约 46	1.5	Li	6.5×10 ⁻³	0.5	80
Al	8.8	25	约 3	Zn	5×10 ⁻³	3	600
Fe	5.1	30	约 6	Sn	4×10 ⁻³	0.15	40
Ca	3.6	40	11	Co	3×10 ⁻³	0.1	30
Na	2.64	39	15	Pb	1.6×10 ⁻³	1	600
K	2.6	30	12	Be	6×10 ⁻⁴	0.4	670
Mg	2.1	13	约 6	As	5×10 ⁻⁴	2	4000
Ti	6×10 ⁻¹	10	约 17	B	3×10 ⁻⁴	5	17000
Mn	9×10 ⁻²	10	110	Mo	3×10 ⁻⁴	0.04	130
Ba	5×10 ⁻²	约 30	600	Sb	4×10 ⁻⁵	1	25000
Cr	2×10 ⁻²	约 8	400	Bi	2×10 ⁻⁵	0.5	25000
V	1.5×10 ⁻²	0.5	30	Ag	1×10 ⁻⁵	0.01	1000 ^①
Cu	1×10 ⁻²	0.5	50	Hg	7×10 ⁻⁶	0.1	14000
Ni	8×10 ⁻³	0.6	70	Au, Pt	5×10 ⁻⁷	0.0003	6000

① 据文献 [3] 有修改。

从表 1-2 可知，银的浓集系数仅仅低于 Au、Hg、Pt、Sb、Bi、As、B 等金属，可以认为银是浓集能力较强的金属。

1.1.2.2 银的丰度

(1) 自然界中的银。银的地壳丰度，A. П. 维诺格拉多夫和 S. R. 泰勒根据

大陆岩石样品计算（1962 年）认为是 0.07×10^{-6} 。R. W. 博伊尔采取分区计算后进行质量加权平均，求出地壳各地质单元银的丰度是：深洋区 0.098×10^{-6} ；浅洋区 0.082×10^{-6} ；洋壳 0.091×10^{-6} ；陆壳 0.065×10^{-6} ；陆棚区 0.067×10^{-6} ；地壳 0.075×10^{-6} ；褶皱区 0.062×10^{-6} ；地盾区—（即低于检测限）；结晶岩 0.077×10^{-6} ；沉积岩 0.066×10^{-6} 。显然，银的丰度，从陆棚—浅洋区—深洋区逐渐增高，洋壳中银的丰度（ 0.091×10^{-6} ）明显高于地壳和陆壳（ $0.075 \times 10^{-6} \sim 0.065 \times 10^{-6}$ ），而与深源物质有成因关系的结晶岩（ 0.077×10^{-6} ），比浅源物质和外生作用有密切关系的沉积岩（ 0.066×10^{-6} ）高。银金属在宇宙中的丰度为 0.52×10^{-9} （格林，1959），陨石的硅酸盐相实际上不含银，铁相中平均含银 $2 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ ，陨硫铁中平均含银 18×10^{-6} （戈尔德施密特，1954 年），E. A. 文森特（Vincent，1974 年）根据中子活化法及质谱同位素稀释法测试结果，认为铁陨石中 Ag 平均含量为 20×10^{-9} ，变化范围在 $12 \times 10^{-9} \sim 146 \times 10^{-9}$ ，球粒陨石含 Ag $22 \times 10^{-9} \sim 570 \times 10^{-9}$ ，无球粒陨石在 $3.1 \times 10^{-9} \sim 98 \times 10^{-9}$ ，玻璃陨石 Ag 含量小于 1×10^{-6} （科亨，1959 年）^[1]。

（2）岩石中的银。银在各类岩石中的丰度，对银成矿地球化学背景的研究十分重要。国内外地质学家在这方面进行了大量研究。岩浆岩中银的丰度（ $0.05 \times 10^{-6} \sim 0.1 \times 10^{-6}$ ）明显低于沉积岩（ $0.1 \times 10^{-6} \sim 2.20 \times 10^{-6}$ ）和变质岩中银的丰度（ $0.1 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ ）。人们普遍认为，银在岩浆阶段中不形成富集，主要呈杂质元素分散在造岩矿物中。主要岩浆岩中银的平均含量见表 1-3。

表 1-3 主要岩浆岩中银的平均含量

岩石类型	银的平均含量/ 10^{-6}	
	涂里千和费德波	维诺格拉多夫
超铁镁质岩石（纯橄榄岩等）	0.06	0.05
铁镁质岩石（玄武岩、辉长岩等）	0.11	0.10
中性岩石（闪长岩、安山岩等）	0.0n（正长岩）	0.07（闪长岩）
酸性岩	0.051（富钙）	0.05（花岗岩）
	0.037（贫钙）	

注：据涂里千和费德波（Turekian, Wedpohl），1961 年；维诺格拉多夫（Виноградов），1962 年。

在沉积岩中，岩性不同银的含量有较大差异。含碳质的泥质岩石含银较高，如中黑色页岩、碳质和磷质页岩；钙质与含钙质的岩石，如灰岩、钙质砂岩含银也很高（见表 1-4）。

从加拿大的某些沉积岩的银含量可以了解，钙质、硅质砂岩和碳质及磷酸盐质页岩、黑色页岩含银较高。

表 1-4 某些沉积岩中银的含量^[1]

岩石类型	岩石名称	含银量/ 10^{-6}
砂质岩	砂岩	0.25
	石英岩和砂岩	0.22
	石英岩	0.31
	硅质石英岩	0.25
	钙质石英岩	0.36
钙质岩	灰岩	0.15
	白云岩	0.12
蒸发岩	石膏	<0.1
	硬石膏	<0.1
黏土质岩石	灰绿色页岩	0.19
	红色页岩	0.11
	红色及浅黄色页岩	0.19
	黑色页岩	0.32
	碳质及磷酸盐质页岩	0.43
	含硫砷板岩	2.20

我国某些地区的黑色页岩含银很高，甚至可以富集成银矿层。如产在鄂西上震旦统陡山沱组黑色页岩中的白果园银钒矿，容矿的银钒岩系，上亚段（Zbd⁴⁻²）含银 1.50~18.17g/t，下亚段（Zbd⁴⁻²）含银 13.46~165.99g/t，银与岩层中碳质物质和微细粒的硫化物，特别是黄铁矿有关。又如广西境内江南古陆东南缘寒武系底部清溪组中硅质、含碳质“黑层”中，一般含银 3~8g/t，最高达 10~20g/t。湖北东南地区的崇阳县大沙坪一带“黑层”中磷结核的基质中含银达 5~3000g/t。湖南境内江南古陆边缘，牛蹄塘组与烟溪组下段黑色页岩中，一般含银 3.5~27.2g/t，个别达 130~786g/t。类似的含银黑色页岩层在滇东、川西、贵州、桂东北、粤北、赣北、皖南、浙西等地区都有分布，是找黑色页岩型银矿的重要层位^[4]。

在变质作用中，银的分布较为复杂，原岩中银的丰度和变质作用类型与程度的巨大差异，会给银的聚散带来重要影响，表现在变质中不同岩石类型银含量有明显差别（见表 1-5）。

表 1-5 变质岩中银的含量^[6]

岩石类型	样品个数	含银量/g · t ⁻¹
石英岩、硬砂岩	289	—
板岩、千枚岩、变泥岩	225	0. 20
片麻岩、麻粒岩	1929	—
角闪岩、绿岩	425	0. 25
片岩	1969	0. 20
泥灰岩、结晶灰岩	40	50
角页岩	368	—
榴辉岩	103	0. 10
矽卡岩	44	—
绿泥石化绿帘石化凝灰岩	12	—
整个变质岩	540	0. 15

从表 1-5 可以概略了解变质作用后形成的泥灰岩与结晶灰岩中银含量较沉积形成的灰岩和泥质岩有明显增高，而较深度变质形成的石英岩、硬砂岩、矽卡岩、片麻岩及麻粒岩，银含量低于检测下限，银受到了流失与分散。诚然，影响银在变质岩中的聚散因素比较复杂。如河南桐柏破山银矿，赋矿层位为上元古界歪头山组，以变粒岩、斜长角闪片岩、绢云石英片岩为主，夹大理岩透镜体。歪头山组上部第二段和中部第二段银含量是地壳银丰度值的几十至 101.7 倍（见表 1-6）。

表 1-6 河南桐柏银矿歪头山组地层银的含量

地层（代号）	含银量/g · t ⁻¹	与地壳丰度比值
上部（Pt ₃ W ₃ ）	3. 62（182 件）	48. 27
中部（Pt ₃ W ₂ ）	2. 74（210 件）	36. 53
下部（Pt ₃ W ₁ ）	0. 38	5. 07

注：据河南省地矿局三队，1988 年；括号内为样品数。

大量研究证明，海水具有很高的均一性，海水中的各种组分，特别是主要组分的相对比例是固定的。据 Д. 戈尔德别尔格 1963 年提供的海水中银的浓度为 0. 0003mg/L，海水中银是以 AgCl₂ 和 AgCl₃²⁻ 形式存在。

1. 1. 3 银的工业矿物

银元素的地球化学性质，特别是在热液活动中极为活跃，使银不但可呈自然银和金属互化物存在，而且银能和许多金属化合而形成银的硫化物，如螺状硫银矿（Ag₂S）；银的硫盐，如深红银矿（Ag₃SbS₃）与淡红银矿（Ag₃AsS₃）；银的硫酸盐，如银铁矾（（AgFe₃）（SO₄）₂（OH）₆）；银的卤化物，如角银矿（AgCl）

等。而且也导致银矿物绝大部分与多种金属硫化物、铁锰氧化物有较强的自然亲和性，共伴生在金属硫化物矿石及氧化矿石中而被工业所利用。

银金属最重要的工业矿物及银含量见表 1-7。

表 1-7 银金属的重要工业矿物^[5, 6]

矿物名称	化学式	银含量/%		密度 /g·cm ⁻³
		理论值	分析值	
自然银	Ag	100	96.78~99.15	10.497
辉银矿	Ag ₂ S	87.06	77.58~86.71	7.04
螺状硫银矿	Ag ₂ S	87.06	86.14~86.79	7.19~7.24
淡红银矿	Ag ₃ AsS ₃	65.42	64.5~65.37	5.57~5.64
深红银矿	Ag ₃ SbS ₃	59.76	59.55~64.68	5.77~5.86
脆银矿	Ag ₅ SbS ₄	68.83	67.8~68.6	6.47
硫锑铜银矿	(Ag, Cu) ₁₆ Sb ₂ S ₁₁	65.10	64.3~71.0	6.07
锑硫砷铜银矿	(Ag, Cu) ₁₆ (Sb, As) ₂ S ₁₁	62.50	51.17~72.43	6.33~6.35
银黝铜矿	(Ag, Cu, Fe) ₁₂ (Sb, As) ₄ S ₁₃	5~25	14.23~23.05	4.99~5.40
角银矿	AgCl	75.26	54.0~78.0	5.55~6.50
碲银矿	Ag ₂ Te	62.86	60.62~62.74	8.402
硒银矿	Ag ₂ Se	73.15	72.67~75.9	7.866

银矿物的银含量理论值与实测值有所差异，某些微量杂质元素的混入与其产出的地球化学环境有关。如自然界中纯的自然银极少，它常含有一定量的 Au、Cu 或 Hg，还可能含有微量的 As、Sb、Bi、Fe、Zn、Co、Ni、Pt、Te 和 Ir 等。自然银中可含 Cu 0.01%~0.48%(廉江)、0.35%~0.61%(瑶岗仙)，含 Fe1.32%(廉江)，含 Hg 0.01%~5.23%(柏坊)，Sb 0.35%~0.95%(鲍家)。

1.2 有色金属伴生银矿床类型与分布规律

1.2.1 伴生银矿床类型

基于研究角度的不同，中外学者对于银矿床分类提出了许多不同的方案^[7~9]。总体来说，强调了以下几个矿床地质特征：银矿床的成因，矿床的共生组合，矿体产出形态，矿床产出的地质环境，矿床的形成时代等。银与众多贱金属、贵金属元素共生或伴生，导致了银矿床分类的复杂性。事实说明，单银的矿床极为少见。将独立银矿床作为单独矿床划分出来，以明显的位置与共伴生银矿床区分是 Ф. И. 沃尔夫松（1982 年）和《苏联金属矿床》（1978 年）提出的分类。Ф. И. 沃尔夫松将中新世与流纹岩有关的银矿床和上新世与安山岩有关的银矿床定为独立银矿床；《苏联金属矿床》将褶皱区与深成花岗岩浆活动有关的银-铅建造矿床和环太平洋带与年轻的安山—英安岩火山作用有关的银-金建造的矿床，

定为独立银矿床。K. Ф. 库兹涅佐夫等人虽然也将银矿床分为伴生与独立两大类，他所指的独立银矿床，实际上是银-钴、银-铅、银-金、银-锡等共生矿床，矿床中钴、铅、金和锡作为主要工业成分予以开采利用（见表 1-8）。

表 1-8 K. Ф. 库兹涅佐夫等人的银矿分类（1978 年）

标志	矿石建造			
	银-砷化物	银-铅	银-金	银-锡
大地构造环境	地台、地盾、海西褶皱带中间地块	海西和中-新生代褶皱区、活化带	年轻火山带、阿尔卑斯褶皱区、活化带	年轻的火山带
岩浆杂岩体	前寒武纪辉绿岩床、海西晚期花岗岩侵入体	浅成相的花岗岩类小侵入体	次火山侵入体和安山岩-英安岩-流纹岩系列的火山岩	古近纪和新近纪斑岩侵入体和火山口相（英安岩、石英斑岩、流纹岩、闪长斑岩等）
典型的矿物共生组合	镍和钴的砷化物（砷镍矿、砷钴矿、斜方砷钴矿、辉钴矿、红镍矿、辉砷镍矿等）、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、黝铜矿、自然铋等	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、毒砂、黝铜矿、铅的硫酸盐（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，有时有方铅矿、闪锌矿、铋矿物	锡石、黄铁矿、辉锑锡铅矿、黄锡矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿，脆硫锑铅矿、车轮矿，黝铜矿、辉铋矿、黑钨矿

注：据《苏联金属矿床》（第三卷银矿床一节），1978 年，节选。

1.2.1.1 有色金属伴生银矿床类型划分

对于大型或超大型矿床的成因，往往是在特定的地质环境中，经过几种不同的成矿作用和漫长的成矿过程而形成的，它紧紧地依赖于地壳的变迁和若干地质事件的叠加，是地质成矿作用的综合结果。就矿床成因而论，某些矿床甚至在矿石开采殆尽时仍在矿床成因上争论不休。通过工作实践我们认为，单纯根据矿床的成因分类，对于矿床初始找矿预测阶段，会造成由于对矿床成因认识肤浅而悬而未决。随着研究的深入，矿床成因的认识也在不断更新。

作者曾在《中国银矿》（1992 年）一书中提出中国银矿床分类^[10]，采用以赋矿岩性，成矿地质环境为主，含矿岩石建造与矿石工业类型相结合的分类原则，以达到既简单易行又具有工业实用性。将银矿床（含伴、共生银矿床）划分为脉型，火山岩型，斑岩型，矽卡岩型，岩浆岩型，沉积岩型，变质岩型和铁锰帽型。再根据矿化组合划分为若干亚类。对于有色金属伴共生银矿类型而言，岩浆岩型矿床相对较少（见表 1-9）。

表 1-9 有色金属伴生银矿床类型与特征^[10]

矿床类型	矿化类型	主要地质特征	矿体形态	矿石类型及结构构造	典型矿物组合	标型银矿物	银品位 /g·t ⁻¹	矿床实例
脉型	Pb-Zn-Ag	与浅层酸性岩体或深层热液成矿作用有关的,产于各种断裂带、破碎带中的石英脉、碳酸盐脉、硫化物脉、硫化物脉	脉状或脉带状为主,部分似层状、透镜状、扁豆状、囊状。脉长可达几千米,矿体长 10 ~ 800m,厚度分米至十多米,延伸可达千米	含银硫化物矿石。块状、浸染状、角砾状、条带状构造	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿	银黝铜矿、深红银矿、黝银矿、辉银矿、自然银	63.7~221	湖南大坊、石景冲、广东大尖山、云南白牛厂
	W-Sn-(Pb-Zn)-Ag				黑钨矿、白钨矿、锡石、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、辉铋矿、磁黄铁矿	硫铋铅银矿、硫铋铅银矿、硫银锡矿、脆银矿	32.65~374.16	湖南瑶岗仙、广东厚婆岭、锯板坑
	Sn-Sb-(Pb-Zn)-Ag				锡石、黄铁矿、辉铋矿、辉铋铅矿、铁闪锌矿、毒砂	铋银矿、辉铋银矿、银黝铜矿、黝银矿	50.0~250.7	广西镇龙山
	Pb-Zn-Ag				方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、白铁矿	辉银矿、自然银、角银矿、硫银锡矿、碲银矿	24.51~251.31	江西冷水坑、内蒙古甲乌拉、查干布拉根
斑岩型	Cu-Mo-Ag	产在斑岩体内、外接触带,成矿与火山或火山机构有关。围岩蚀变具分带性,矿化具细脉状、浸染状及网脉状	椭圆形、盆状及不规则桶状。面积不足 1km ² 至若干平方千米,深度达数百米	含银铜钼硫化物矿石。细脉浸染状构造	黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿、斑铜矿、方铅矿、辉铋矿、辉铜矿	银黝铜矿、自然金、银金矿、碲银矿、辉银矿	32.0~62.5	辽宁望宝山、内蒙古乌兰大坝、乌奴格吐山
	(Cu-Sn)-W-Ag				黑钨矿、白钨矿、锡石、镜铁矿、辉钼矿、斜方砷钴矿、斜方砷铁矿、毒砂、磁黄铁矿	自然金、铋银矿、铜铅银铋矿、银金矿	140.0~155.0	广东莲花山