

沉积-改造型层控矿床的元素及元素组合

赵 振 华

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

摘 要

沉积-改造型矿床是层控矿床的一个重要类型。我国形成沉积改造型矿床的元素主要有 Pb, Zn, Hg, Sb, As, U, Cu, Fe 以及 S (黄铁矿), F (萤石), Ba (重晶石), Si (水晶) 等。本文分析了沉积-改造型矿床主要控矿地层中成矿元素的含量背景, 划分了矿床中主要成矿元素的组合类型, 讨论了元素组合类型的地球化学特征和形成机理。

涂光炽首先提出了沉积-改造型层控矿床的概念并论证了这种矿床类型的地质地球化学特征¹⁾。后来, 他又进一步指出: “沉积-改造矿床, 系指某些沉积矿床或矿化地层于沉积形成后, 在另一次或多次地质作用中处于不到绿片岩相变质程度的温度压力范围 (即温度低于 300—400℃, 压力 < 1,000 大气压), 不均一围压和宏观破裂中的各种改变……与此同时或稍后, 部分或全部成矿物质发生重结晶、溶解, 重新沉淀和富集成矿。”¹⁾沉积-改造型层控矿床在我国分布广泛, 多数汞、锑、雄黄、雌黄矿床; 产于碳酸盐地层中与岩浆活动无明显联系的铅锌多金属矿床、水晶矿床、重晶石矿床、萤石矿床、黄铁矿矿床; 某些砂岩型铜铀矿床以及一些产于碳酸盐-硅岩-细碎屑岩中的铀矿床; 前震旦系地层中的钨-锑-金矿床等, 均属沉积-改造型层控矿床。本文讨论的还包括沉积-变质或混合岩化后又受到改造的矿床 (混合岩化后改造) 的元素组合特征。

一、主要控矿地层的成矿元素含量

沉积-改造型层控矿床的基础是沉积矿床或矿化地层。在我国, 这种类型矿床的主要控矿地层可概括如下:

Pb, Zn 震旦系、寒武系、泥盆系、白垩-第三系;

Hg, Sb 寒武系、泥盆系、二迭-三迭系;

Cu 元古界、白垩系、白垩-第三系;

U 震旦-寒武系、志留系、泥盆系、二迭系、白垩-第三系;

Au 太古界、元古界;

黄铁矿 泥盆系;

本文 1982 年 6 月 21 日收到。

1) 涂光炽, 1974, 关于再造成矿作用; 1981, 初论沉积改造矿床。

水晶矿 泥盆系。

不难看出泥盆纪地层是很重要的控矿地层。据报道^[1], 广东产于泥盆系地层中的沉积改造型锌矿占全省储量 84.04%, 铅占 76.55%, 黄铁矿占 96.23%; 广西产于泥盆系地层中的沉积-改造型矿床, 铅、锌占 84.4%, 汞占 93%。在贵州则不同, 中(下)寒武统地层中的沉积-改造型汞矿占全省储量的 92%。

一定的地层对矿床的控制主要表现为两方面: 一是空间上, 矿床较严格地局限在某一地层中。二是在成矿物质上, 控矿地层中成矿元素含量背景较高, 构成矿源层。我国沉积-改造型层控矿床主要控矿地层成矿元素含量背景列于表 1。

表 1 我国沉积-改造型矿床主要控矿地层中成矿元素含量 (ppm)

矿床种类	主要控矿地层	矿床实例	主要成矿元素含量	高于克拉克值(地壳)倍数	备 注
汞	寒武系	万山 酒店塘	Hg: 0.2 1.33	4 26.6	几十万件原生晕样品分析, 据花永丰
	泥盆系	益兰 公馆	1—2 0.44—0.77	20—40 6—10	
金	板溪群	桃源	Au** 4.2	1.2	据刘英俊等
	鞍山群	龙山	7.2	2.0	117 个样平均, 据黄建 21 个样平均, 据董礼周
	夹皮沟*	夹皮沟*	117	30	
	太华群	潼灵*	30.5	8.7	
铜	昆阳群因民组	东川	Cu: 300	6.4	转引自冉崇英
		易门	130	2.8	
		通安	1920	40.9	
锑	上泥盆统	锡矿山	Sb: 26.4	53	107 个样平均区域背景, 据谌锡林
			63	126	
	中泥盆统		50	100	
	上二迭统	晴隆	22—69	44—138	
铅、锌	下泥盆统	半坡	4—181	8—362	据张生炎
	中泥盆统	禾青	Pb: 137.4 Zn: 275.2	8.6 3.3	
铀	上泥盆统	矾口	300 100—300	18.8 6.3—18.8	转引自姚振凯资料
	震旦系(陡山沱)	184	U: 45	18	
	中志留统	510	10	4	
	上泥盆统	3105-3	17	6.8	
	下石炭统	387	7—13	2.8—5.2	

* 为混合岩化后改造型, ** 单位为 ppb.

对重要的控矿地层泥盆系, 选择了南丹—罗富泥盆系系统剖面作成矿元素含量分析, 剖面包括从下泥盆统到上泥盆统, 岩石类型主要为一套泥岩、灰岩及少量硅质岩。分析结果如表 2。可以看出, Sb, As, Pb, Zn, Hg 均高于或略高于地壳克拉克值, Mn, Cu 则低于克拉克值。一个显著的特点是 As, Sb, Zn 在中泥盆统含量最高, 铅在下泥盆统含量高, 这和该地区中、上泥盆统地层中分布有许多沉积-改造型层控矿床 (如大型雄黄、雌黄矿床, 锑、铅、锌矿床) 这一特点是一致的, 反映了泥盆纪地层对成矿的控制。西秦岭西成地区的大、中型铅锌矿, 产于中泥盆统西汉水群第六岩性段, 对该段成矿元素含量分析, Pb, Zn, Hg, Sb, As, S 等

表 2 南丹-罗富泥盆系地层剖面元素含量 (ppm)

元素 时代	Sb			As			Pb			Zn			Hg			Mn			Cu		
	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数	范围	平均	富集系数
D ₃	<2 5	2.1	4.2	0.1 13.3	5.0	2.9	10 40	21	1.3	10 150	50	0.6	0.04 0.12	0.07	1.4	60 2,200	477	0.5	10 40	15.1	0.3
D ₂	<2 15	3.4	6.8	0.4 126	22.0	12.9	10 40	25	1.6	10 500	116	1.4	0.04 0.75	0.073	1.5	40 570	164.9	0.2	10 80	34	0.7
D ₁	<2 9	2.4	4.8	6.3 28.4	13.5	7.9	10 110	41.0	2.6	20 240	63	0.8	0.06 0.15	0.074	1.5	40 570	95	0.01	10 60	28	0.6
平均	<2 15	3	6	0.1 126	17.2	10.1	10 110	28	1.8	10 500	93	1.1	0.04 0.75	0.07	1.4	40 2,200	209	0.2	10 80	29	0.6

富集系数指平均含量与地壳克拉克比值。

平均值分别为地壳克拉克值的 23, 23, 11, 40, 22, 6 倍。

需要指出的是,我国某些沉积-改造型层控矿床分布区的老地层中成矿元素含量往往较高。在湖南,雪峰古陆以西的湘西,湘西南,锌、硫呈区域性富集。震旦纪地层富硫,一般为 6,000—27,000 ppm。寒武系富锌,一般为 300—4,000 ppm (王育民)¹⁾,湘中的寒武系碳质板岩 120 个分析结果, Pb: 22 ppm, Zn: 164 ppm, S: 20, 300 ppm, As: 94 ppm。锡矿山地区的震旦-寒武系, Sb 一般为 50—100 ppm, 为克拉克值的 100—200 倍。铜仁汞矿带震旦系地层汞含量普遍高于克拉克值几十几百倍。其中大塘坡组含炭质岩石汞为 2 ppm, 灯影陡山沱组汞为 0.9 ppm, 炭质页岩为 1.4 ppm。该区板溪群也分布有汞矿点。

由上所述,我国沉积-改造型层控矿床控矿地层在元素含量上有以下特点:

(1) 绝大多数情况下赋矿层成矿元素含量很高,构成矿源层。有些矿床的矿源层为赋矿层的下伏地层,如东川式铜矿,矿源层为下伏的因民组紫色层;有些则为上伏地层,如某些铀矿。在一定地区,沉积-改造型矿床发育在一定层位,如在湘南、粤北、桂北,主要为中、上泥盆统;湘西、黔东的层控铅、锌、汞矿床主要在寒武系,东川式铜矿则主要在昆阳群落雪组;

(2) 矿源层中很少是单一元素,往往是多种元素,如 Pb, Zn, Cu, Hg, As, Sb, Au 等元素中某几个元素含量均较高,这也决定了我国层控矿床元素组合的多样性;

(3) 控矿地层周围的老地层成矿元素含量往往较高,如雪峰古陆可能为沿其周围分布的 Hg, Pb, Zn 等矿床提供部分成矿物质;

(4) 控矿地层中有机质含量一般较高,常出现碳沥青或碳质物,如硃口含矿岩系(灰岩、砂岩、页岩)有机质含量为 0.15—0.56% (郑庆年);白云铺、禾青平均为 0.267%;万山汞矿出现沥青化蚀变带,辰砂中普遍含有机炭,如大硃喇汞矿辰砂平均含碳 0.05%。各类层控铜矿的地层结构或建造中都有一定厚度的煤层或高碳质层。层控金矿,如银硃坡的黄铁绢云母石英片岩,有机碳含量 1.476%,四道沟金矿薄层大理岩有机碳为 0.665%,绢云母石英片岩为 2.626%。层控铀矿床,如 3111 矿矿石有机碳含量为 0.65%,184 矿为 0.792%。

1) 王育民,试论中国铅锌矿床类型及其成矿规律问题,1980。

二、沉积-改造型矿床的元素组合

我国晚近地质历史中地壳运动频繁,使原来的沉积矿床或矿化地层,有的甚至是一些沉积变质或混合岩化的层控矿床,均受到不同程度的改造,矿物组合、物质成分均发生不同程度的变化,形成了较复杂的元素组合。

1. 主要成矿元素组合类型

沉积-改造型矿床主要成矿元素组合类型及主要特征列于表 3。应当指出,实际情况要比表中所列类型复杂。在沉积-改造型矿床中,除表中所列 13 种元素组合类型外,还有一些单元素型矿床,如单汞型(万山、务川)、单锑型(锡矿山)、单黄铁矿型(英德)、单铜型(东川)、单金型(漠滨)、单铀型(114)以及水晶矿、重晶石矿、萤石矿、菱铁矿矿床等。它们的共同特点是矿石矿物很简单,主要为单一矿物,如辰砂、辉锑矿、黄铁矿、黄铜矿、自然金、沥青铀矿、水晶、重晶石、菱铁矿等。

表 3 沉积-改造型层控矿床主要元素组合特征

元素组合类型	典型矿床	主要矿物组合	元素含量 (ppm)**	注
Hg-Sb	公馆	辰砂、辉锑矿		
Hg-U-Mo	504	辰砂、硫钼矿、铀主要呈分散吸附态,部分为铀黑,显微沥青铀矿		
Hg-As-Au	石峡	自然金、辰砂、雄黄、雌黄;80%金呈胶体状态,20%呈单矿物	Au: n Hg: $n \times 100$ As: 230—317	砷矿体在金汞矿体中呈矿色状
W-Sb-Au	湘西	自然金、辉锑矿、白钨矿、黑钨矿	W: 3,410 Sb: 31,100 Au: 8.27	
Au-Sb	龙山	自然金、辉锑矿、黄铁矿		
Pb-Zn-黄铁矿	北山	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿	S: 10.54—38.35%, Pb: 0.1—6.43% Zn: 0.774—14.53%	
Pb-Zn-菱铁矿	矾口	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、菱铁矿	Zn: 11.17% Pb: 5.5%	菱铁矿体在黄铁矿、铅锌矿体外独立存在
Pb-Zn-U	泗顶	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、沥青铀矿		铀呈独立矿体与铅、锌共生
Pb-Zn-重晶石	乐梅	闪锌矿、方铅矿、重晶石		重晶石可呈单独层存在
Cu-Mo	格依扎	辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿	Cu: 7,700—11,000 Mo: 390	铜钼矿体在空间上重迭
Fe-Cu-Co	石碌	赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿,含钴黄铁矿、含钴磁黄铁矿		铁矿在上;铜、钴矿体在下
Au-Mo*	黑石峪	自然金、银金矿、金银矿、碲银矿、辉钼矿	Mo: 3,890 (最高)	
Au-Pb-Zn 多金属	夹皮沟	自然金、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白钨矿、黑钨矿		

* 为混合岩化后改造型, ** 元素含量数据系根据资料整理。

2. 沉积-改造型矿床的微量元素组合

微量元素组合随主要成矿元素不同而变化,并且,微量元素组合特征可提供矿床成因的重要资料^[2]。

(1) 铅-锌-黄铁矿型矿床,伴生微量元素主要是亲硫的分散元素,如 Cd, Ge, Ga, In 及 Ag, Au, Co 等。它们的含量一般随改造程度增加而增加,如弱改造型北山铅-锌-黄铁矿矿床,Ag 一般为 5—20ppm, Cd 20—210ppm, 均达到工业综合利用的要求。强烈改造型的矾口铅锌矿床,Ag 为 20—146ppm, 达大型规模, Cd 为 3—256 ppm。

沉积-改造型铜矿,伴生微量元素主要有 Ag, Pb, Zn, Mo, Se, U, Co 等,其中 Ag, Pb 最普遍。Ag 一般为 $n-n \times 10$ ppm, 有的高达 $n \times 100$ ppm, 如格依扎铜矿微量元素平均含量(ppm) Ag 22.6, Pb 600, As 1,400, Mo 390, Se 9, Re 0.7, Zn 250 (据云南 309 队资料)。

铀矿中伴生微量元素主要为 V, Ni, Zn, Cd 等,西秦岭某些沉积-改造型铀矿, Zn, Ni 可综合利用,有的 Hg, As, Sb 也较高。

汞、锑矿床中一般 As, Se 较高。此外,一般汞矿床中有一定量锑,而锑矿床中有一定量汞,如锡矿山矿层(硅化层)汞含量平均为 8.8ppm。

金矿床中以混合岩化后改造型的微量元素较为复杂,除普遍含银外, As, Sb, Bi, W, Pb, Zn 等也较高。

水晶矿床则常有 As, Sn, W, Bi, Mo, Sb, Pb, Zn 等。

(2) 微量元素与主元素、微量元素与微量元素之间有一定组合关系。

在铜矿中, Ag, Mo 与 Cu 呈正相关关系。

在铀矿中, Ni, V, Zn 与 U 呈正相关关系,在砂岩型铀矿中 U, V, Cu 之间有固定关系。常是 Cu-U; U-V 组合,未见只有 Cu, V 而没有 U 的。

利用多元统计分析,可划分微量元素与主元素组合类型。如对某铀矿用因子分析划分出 U-Y-Pb-Zn-Ag, U-Pb-Sn-Y 及 U-Fe-P-Ca-Mg, U-Fe-P-Si 组合,反映了铀的成矿作用特征。对 504 Hg-U-Mo 型矿床分析表明, U 与 Hg, Mo 无相关关系,只是在空间上重合,表明它们可能是不同成矿阶段的结果¹⁾。

(3) 矿石中微量元素含量及组合可提供成矿物质来源的证据。例如公馆汞锑矿矿体中微量元素含量与组合明显不同于距矿田70公里的花岗岩体,而与围岩十分相似(汞锑矿体及围岩均贫 Ti, Zr, Ga 富 Ni, Co, Cu, Sn, 花岗岩体则恰相反)^[3],说明汞锑矿化与花岗岩体无关而与围岩关系密切。东川式铜矿中,与铜矿伴生的主要元素为 Ag, Ge, Mo, 它们在区内火成岩中很少出现(王可南)²⁾,说明矿化与火成岩无关。又如广西层控水晶矿床,对其方解石脉型的微量元素分析表明,其所含微量元素与围岩(灰岩)基本一致(Ba, Mg, Pb, Mn, Ti, Al 等)。对脉体中方解石的电子顺磁共振分析(6个样)表明 Mn^{2+} 以类质同象状态存于方解石晶格中,含量 0.008—0.013%, 与沉积岩中方解石 Mn^{2+} 含量相当,但明显低于热液脉方解石 Mn^{2+} 含量(蔡秀成)³⁾,提供了成矿物质来源于围岩——灰岩的证据。

(4) 黄铁矿是沉积-改造型矿床中遍在性矿物,其 Co, Ni, S, Se 含量及 Co/Ni, S/Se 比

1) 郑懋荣,对层控型 504 铀矿床新认识, 1981。

2) 王可南,云南东川铜矿床的地质地球化学特征, 1980。

3) 蔡秀成,电子顺磁共振用于研究矿床成因问题, 1980。

值反映了矿床的形成方式^[4]。表 4 列出了上述元素含量和比值。可以看出，对于沉积-改造型矿床，Co，Ni，Se 含量均较低，Co/Ni 比值显著小于 1，S/Se 比值高，为几万到几十万。反映它们基本保持了沉积特征，这与沉积变质或与内生热液作用有关的黄铁矿形成鲜明对比，它们的 Co，Ni，Se 含量增加，Co/Ni > 1，S/Se 比值显著降低，一般为几千。

表 4 沉积-改造型矿床中黄铁矿 Co，Ni，S，Se 含量 (ppm)

矿 床		样品数	Co	Ni	Se	Co/Ni	S/Se	资料来源
黄 铁 矿 、 铅 锌 矿 床	硫 磺 山	6	10	20		0.5		钱 启 福
	井 角 冲	7	14	37		0.4		钱 启 福
	沙 口	2	—	<10		«1		钱 启 福
	车 子 坳	3	—	<10		«1		钱 启 福
	九 龙	2	25	30		0.8		钱 启 福
	猪 婆 岩	2	<10	20		<0.5		钱 启 福
	梅花大坪	3	7	10		0.7		钱 启 福
	西 岗 寨	2	—	<10		«1		钱 启 福
	马 口	5	—	<10		«1		钱 启 福
	梨 树 下	18			0.3—2			钱 启 福
	矾 口	10	—	10	未析出—1.8	«1	332,200	作 者
	矾 口	3	10	40	2	0.25	164,850	作 者
	马 口	12	—	41	0.4	«1		陈魁垣等
	红 岩	4	50	165	6	0.37	116,044	作 者
	排 带	3	—	100	5	«1	108,594	作 者
	禾 青	6	1083	983	5	1.01	120,243	作 者
	泗 顶	3	40	120	6	0.38	79,761	作 者
	箭 猪 坡	3	50	100	6	0.5	105,385	作 者

3. 沉积-改造型矿床元素组合特征

综上所述，我国沉积-改造型矿床元素组合具有如下特点：

- (1) 元素组合随时代改变而有规律变化。Au 主要赋存在较老(前寒武)地层中，古生代以后较少；Hg 主要在下古生代；Pb，Zn，Sb 主要在上古生代。随时代变新，元素组合趋于复杂化；
- (2) 元素组合受一定区域性控制，湘黔地区汞的区域背景值高，因此，在该区的锑、铅、锌、铀矿床中都有一定的汞存在而形成与汞的组合；在华北、东北则多出现金的组合；在云南多出现铜的组合；
- (3) 元素组合有一定继承性，某种元素组合往往是继承和发展某种类型元素组合的结果。例如在铀矿中，U，Mo，V是最基本的组合，在下古生代增加了 Hg，形成了 Hg-U-Mo 组合，而到上古生代又增加了 Sb，Zn。金矿在元古代为 W-Sb-Au 组合和 Fe-Au 组合，在古生代、

中生代为 Fe-Cu-Pb-Zn-W-Au 组合,在中生代,新生代出现 As-Sb-Hg-Au 组合等。

(4) 互为寄主,最明显的是 Sb 和 Hg, 它们除形成上述 Hg-Sb 组合外,即使在单一的锑矿或汞矿中均有一定量的汞或锑。黄铁矿矿床也类似,除单一黄铁矿矿床外,黄铁矿矿床中均有一定量的铅和锌,而铅、锌矿床中也有一定量的黄铁矿。

三、元素组合形成机理的初步认识

(1) 矿源层中元素含量与组合决定了沉积-改造型矿床的元素组合类型,而矿源层的元素含量与组合特征往往受其岩性、时代及区域地球化学背景控制。如南丹—罗富剖面的高 As, Sb 含量决定了该区出现沉积-改造型雌黄、雄黄矿床,锑矿床及铅锌矿床;

(2) 元素组合还取决于元素的迁移性质,迁移性质相近的元素及化合物,在一定条件下可组合在一起。涂光炽¹⁾指出,形成沉积改造型矿床的元素一般属多价元素,如铜有零价、正二价;钼有四价、六价;钨有二价、三价、五价;铀有四价、六价。它们的特点是高价(氧化状态)时易于活化转移,低价(还原状态)时则稳定,易于沉淀。因此,它们往往在一定条件下共同迁移,而又在一定条件下共同沉淀,共同组合成矿。Hg, Sb, As 等都具高挥发性,在矿化地层(或沉积矿床)受到改造时很易共同活化转移,因此它们的组合也多见;

(3) 形成沉积-改造型矿床的绝大部分元素为亲铜元素(如 Ag, Au, Cu, Zn, In, Sb, Hg, Pb, As, Ga, Ge, Tl, Se, Cd, Bi, Te 等),它们与 S 有很强亲合力,常呈硫化物或复杂硫化物沉淀。大量实验表明,它们易与氯呈络合物型式迁移,只有当系统的总硫很高时才呈硫络合物迁移。根据络合物生成自由能计算,上述元素的同类络合物稳定性降低顺序如下^[5]:

$$\text{Hg Cd Pb Cu Zn Sn Ni Fe Co Mn} \\ -D \text{ 值}^2) 227 \ 156 \ 154 \ 134 \ 132 \ 126 \ 83 \ 82 \ 81 \ 78$$

这种稳定顺序一方面说明了它们形成沉积-改造型矿床的能力(Sn 以后的元素一般不形成沉积-改造矿床),另一方面也可解释它们组合的原因(相邻元素在一起组合);

(4) E. Szadecz-Kardoss^[6] 对元素活化度的计算资料可作为形成沉积-改造型矿床的元素迁移(活化)能力的定量数据。由表 5 可见,形成沉积-改造型矿床的元素,均具有较高的溶解活化度或熔融活化度,如 Ag, Sb, As, S 的溶解活化度在所有离子中为最高, Pb, Zn, Cu 也较高。如果将复合活化度数据由小到大排列,可得出 Au→Co→Cu→Zn→Ni→Ag→Bi→Pb→U→Sb→As→Hg→S 的序列。表 6 还列出了这些元素氯化物溶解度数据,可见它们的溶解度均较高。上述特征也说明了这些元素形成沉积-改造矿床的能力及它们之间的组合原因;

(5) U, Hg, Sb, As (雄黄、雌黄) 等元素只形成沉积-改造型矿床,而不形成沉积-变质矿床,这也与它们非常活泼的地球化学性质有关。由于沉积-改造是发生在绿片岩相以下的温、压条件,当在此条件以上时, Hg, Sb, As, U 等矿床均遭到破坏,雄黄、雌黄转变为毒砂,所以上述元素组合只能在沉积改造型矿床中出现。Смыслов, А. А.^[8] 关于铀在绿片岩相到麻粒岩相、榴辉岩相含量明显降低的资料也是证明。相反, Fe, Mn 等元素组合不在沉积-改造型中出现,而仅出现在沉积-变质或混合岩化型中,这主要决定于它们的地球化学惰性。

1) 涂光炽,初论沉积改造矿床,1981。

2) $-D = \Delta G^\circ + \text{常数}$ 。

表 5 某些元素活化度资料^[6]

元 素	熔融活化度	溶解活化度	复合活化度	元 素	熔融活化度	溶解活化度	复合活化度
S	1.08	8.19	4.63	U	1.40	1.28	1.34
C	1.30	99.	50.15	V	0.43	1.39	0.91
P	0.75	0.83	0.79	W	1.12	1.50	1.31
F	1.22	0.76	0.99	Pb	1.25	1.25	1.25
Cl	1.36	0.91	1.13	Zn	0.72	0.96	0.84
Sb	1.00	7.5	2.21	Mn	0.56	0.62	0.59
As	0.89	3.95	2.45	K	1.33	0.91	1.12
Hg	0.96	4.82	2.89	Na	1.11	0.26	0.68

表 6 某些元素氯化物的溶解度(据 H. J. Rösler)^[7]

化 合 物		AsCl ₃	AuCl ₃	CuCl ₂	FeCl ₂	HgCl ₂	PbCl ₂	SbCl ₃	UCl ₄	ZnCl ₂
溶解度	20°C	与水作用	68	73	64.4	6.6	0.99	931.5	易溶	368
(克/100克水)	100°C	与水作用	易溶	110	105.7	55(61.3)	3.34	∞到与水起作用	与水起作用	614

工作中得到涂光炽教授的指导,王秀璋、陈先沛、尹汉辉、杨蔚华、李朝阳、张宝贵等提供了许多资料并进行了有益的讨论,马林清提供了泥盆系剖面岩石标本,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 赖应鑫,地质论评, 27(1981), 1: 8—13.
- [2] 乌尔夫, K. H. 主编, 层控矿床和层状矿床, 第二卷, 1—16; 271—272.
- [3] 陕西地质局第一地质队综合研究组, 地质论评, 27(1981), 1: 15—23.
- [4] Loftus-Hills, G., Solmon, M., *Mineralium Deposita*, 1937, 2: 228—242.
- [5] Barnes, H. L., *Econ. Geol.*, 1962, 57. 30—37.
- [6] Kordoss, E. S., *Metallogenetic and Geochemical Provinces Symposium*, 1972, 78—84.
- [7] Rösler, H. J., Lange, H., *Geochemical Table*, 1972, 76—89.
- [8] Смыслов, А. А., Уран и торий в земной коре, 1974, 110.