

# 亚洲中部及邻区成矿元素的演化趋势

陈廷愚

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 亚洲中部及邻区的成矿作用, 在地球演化早期即前寒武纪, 以碳、硼、磷、镁、金、铁、铜等为主, 在晚期即显生宙后期, 以铝、铅、钨、钼、汞、铋等为主。

前寒武纪碳(C, 石墨矿)的集中发育可能与地球早期地壳和大气圈中氧丰度不高有关, 碳不易氧化; 硼(B)、磷(P)说明在地球演化早期, 地壳中相对富含挥发分元素; 镁(Mg)、铁(Fe)、金(Au)说明在地球演化早期, 地壳中镁铁质成分占据主导地位。铜(Cu)系多期成矿的元素, 其成矿作用主要发生在元古宙、古生代和中生代。在经济上有意义的铝(Al)即铝土矿的成矿高峰期, 以中国为例, 主要出现在石炭—二叠纪。铅(Pb)、锌(Zn)、钨(W)、锡(Sn)、钼(Mo)主要成矿于中生代。汞(Hg)、铋(Sb)初步沉积在古生代, 但成矿则主要在中生代, 一般说来, 比铅、锌、钨、锡、钼更晚。

这些元素在周期表中的位置, C、B、P、Mg、Al 属第 2~3 周期, 其成矿主要出现在地球演化早期; Fe、Au、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Hg、Sb 属第 4~6 周期, 其成矿主要出现在地球演化晚期。铀(U)为第 7 周期, 成矿更晚; 中国铀矿的成矿主要在钨(W)、锡(Sn)、钼(Mo)、铋(Bi)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、铌(Nb)、钽(Ta)、稀土(REE)等所有矿化之后。换言之, 在地球的演化历史中, 成矿元素的原子结构由简单逐渐趋于复杂, 其外层电子层数由 2~3 层(C, B, P 等)发展到多达 7 层(U)。

由此可见, 在普查找矿中, 寻找周期表前部的元素的矿床, 应当主要在古老地壳地区(前寒武纪地层发育地区)进行; 寻找周期表中部的元素的矿床, 在古老地壳地区和年青地壳地区都应注意; 而寻找周期表后部的元素的矿床, 则主要应在年青地壳发育地区, 即年青的地质、构造、岩浆及热液活动发育的地区进行。

显生宙以来, 特别是晚古生代和中生代以来, 地球上水圈、大气圈和生物圈的进一步发育, 使成矿元素的演化趋势进一步复杂化; 这一阶段外生矿床主要是沉积矿床的形成, 以及特别是碳、氢和氧的再循环, 导致了大量煤、石油和天然气的生成。

**关键词:** 亚洲中部; 成矿元素; 演化趋势; 地球历史; 元素周期表

中图分类号: P596 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2010)04-1162-13

## 1 亚洲中部及邻区某些成矿元素的主要成矿时代

### 1.1 镁(Mg), 硼(B), 磷(P)和碳(C)成矿: 主要形成于前寒武纪

#### 1.1.1 菱镁矿

##### 1) 古元古代和古—中元古代

菱镁矿在中国北部地区最重要的成矿时代为古元古代和古—中元古代, 多为大型—超大型沉积变

质矿床, 如辽宁海城、山东粉子山; 其次为新太古代, 多为中型矿床, 如河北邢台。

在中国南部四川汉源地区有新元古代的菱镁矿矿床产于震旦系上统的白云岩中, 但其规模较小。

##### 2) 新元古代

这一时期的菱镁矿主要见于俄罗斯境内, 其时代为新元古代晚里菲期。其中上图罗夫(Verkhneturovskoe)和卡尔达坎(Kardakanskoe)为大型矿床, 其他多为中型矿床。

收稿日期: 2010-05-20; 改回日期: 2010-07-20

基金项目: 中、俄、蒙、哈、韩合作项目“亚洲中部及邻区地质图系编图(1:250 万)”资助。

作者简介: 陈廷愚, 男, 1940 年生, 研究员, 主要从事矿床学、花岗岩岩石学和南极地质研究; E-mail: chenty@cags.ac.cn。

表 1 亚洲中部及邻区菱镁矿的成矿时代  
Table 1 Metallogenic epochs of magnesite deposits in Central Asia and adjacent areas

国别	成矿时代		
中国	(新太古代)	古元古代及古—中元古代	(新元古代)
俄罗斯			晚里非期 (新元古代)
蒙古国			(新近纪)

除此之外,也有个别矿床形成较晚。如蒙古国的比德林河(Bideriin gol)菱镁矿矿床形成于新近纪,为一中型矿床。

总之,菱镁矿的主要成矿时代为古元古代—新元古代(表 1),含矿岩石主要为白云质大理岩或白云岩。

1.1.2 滑石

目前已知在中国北部滑石矿床的主要成矿时代为古元古代,其次为新元古代。矿床以沉积变质型为主,分布在辽宁、吉林等地。

此外,在中国南部广西龙胜地区有滑石矿床赋存于新元古代板溪群顶部的白云质大理岩中。

1.1.3 硼矿

1)新太古代—古元古代

新太古代—古元古代的沉积—变质型硼矿见于朝鲜半岛北部和俄罗斯阿尔丹地盾南部等地。

2)元古宙

在中国北部硼矿主要分布于辽宁、吉林、山东等地的古—中元古界轻变质的火山—沉积地层中。

俄罗斯萨哈林岛上的塔约日(Taezhnoe)硼矿是一个形成于古元古代的矽卡岩型矿床。

3)晚古生代

显生宙以来的构造—岩浆活动导致了某些内生硼矿的形成。如俄罗斯布列亚地块的索龙戈(Solongo)硼矿就是一个形成于晚古生代的大型矽卡岩型硼矿床(表 2)。

表 2 亚洲中部及邻区硼矿的成矿时代

Table 2 Metallogenic epochs of boron deposits in Central Asia and adjacent areas

国别	成矿时代		
中国	(新太古代)	古—中元古代	
俄罗斯	新太古代	古元古代	晚古生代
朝鲜半岛	新太古代	古元古代	

1.1.4 磷矿

1) 新太古代

新太古代的沉积—变质磷矿出现在中国北部的河北、辽宁、山东、山西等地,以及朝鲜半岛的北部地区。这一时期的磷矿产于绿岩带内,与绿岩带有着密切关系。

2) 古元古代

古元古代磷矿在中国北部发育于吉林和辽宁等地的古元古代地层中,但矿化较差。

这一时期在俄罗斯境内发育有变质磷矿床。其中谢利格达尔(Seligdarskoe)为一大型矿床,其成矿时代为里非—文德期。

3) 中元古代

中国北部中元古代的沉积—变质磷矿分布很广,主要见于江苏海州和吉林浑江等地。河北承德等地发育中元古代的岩浆型铁—磷矿床。

中—新元古代的沉积—变质型磷矿还见于内蒙古的阿拉善右旗和乌拉特后旗等地。

4) 新元古代

中国北部甘肃永昌县马房子沟和青海湟中县黑沟峡分布新元古代的沉积—变质磷矿,但规模一般较小。

这一时期的沉积磷矿在中国南部分布很广,主要发育于震旦系陡山沱组,分布在湖北宜昌、贵州开阳和瓮福等地。

蒙古国境内新元古代的沉积磷矿分布也很广。如乌哈河(Uhaa gol)、查干湖(Tsagaan nuur)和欧林达瓦(Oliindavaa)等,均为大型矿床。

这一时期在俄罗斯境内发育的沉积磷矿如乌尔兹特(Ulzytskoe),其成矿时代为里非—文德期,为大型矿床。奥舒尔科夫(Oshurkovskoe)磷矿是一个大型岩浆矿床,形成于新元古代—早古生代。

5) 早古生代

在中国寒武系下统发育有寒武纪磷矿,矿床类

型均为沉积型。在中国北部分布于河南鲁山和宁夏贺兰山等地,在中国南部分布于云南昆阳、贵州开阳、湖北襄阳、四川汉源和海南崖县等地。

早古生代的岩浆型磷矿有青海湟中县上庄磷矿和吉林四平山门磷矿。前者为大型矿床,后者为小型矿。

#### 6)晚古生代—三叠纪

在河北涿鹿矾山的辉石岩中发育有岩浆型磷—铁矿床,岩石同位素年龄为 205~222 Ma<sup>[4]</sup>。属于这类矿床的还有河北罗锅子沟磷灰石矿床。

#### 7)中—新生代

俄罗斯境内分布有这一时期的磷矿,如捷列克(Telekskoe)和别尔金(Belkinskoe)为中型规模矿床。

由此可见,磷矿的成矿始于新太古代,主要发生在元古宙和寒武纪(表 3)。其成矿方式在新太古代主要与绿岩带的发育或沉积—变质作用有关;元古宙时主要为沉积作用,其次为基性岩浆作用;古生代以后岩浆型磷矿愈趋重要。

### 1.1.5 石墨

#### 1) 新太古代—古元古代

中国北部石墨矿床的成矿时代主要为新太古代至古元古代。矿床主要分布在黑龙江佳木斯地块和山东胶东地块,多为大—中型矿床,属沉积—变质型。

#### 2) 中—新元古代

中国陕西丹凤县虞家河—蹇子坪石墨矿和眉县铜峪石墨矿赋存于新元古代宽坪群和中元古代秦岭群中,为沉积—变质型矿床。

俄罗斯的石墨矿主要形成于里菲期(中—新元古代),其次为太古宙。矿床均为沉积—变质型。例如科纽霍夫(Konyukhovskoe)、库季坎(Kutikanskoe)和斯瓦丘坎(Sivachukanskoe)成矿时代为里菲期,均为大型矿床。

蒙古国的石墨矿主要形成于元古宙,为沉积—变质型。例如祖勒格太(Zulegtei),其成矿时代为

新元古代,为大型矿床。

#### 3)古生代

俄罗斯的索于兹恩(Soyuznoe)矿床是一个大型矿床,成矿时代可能为早古生代(?)。

蒙古国有一个小型石墨矿床哈尔干纳(Hargana),可能形成于早泥盆世。

由此可见,在亚洲中部及邻区石墨矿主要形成于新太古代—古元古代及中—新元古代(表 4)。主要含矿岩石为富含碳质的大理岩,特别是含石墨大理岩。有关的成矿作用主要为沉积—变质作用。

## 1.2 铁(Fe),金(Au),铜(Cu)成矿:在古老成矿基础上的多期成矿

### 1.2.1 铁(Fe)

本区铁最重要的成矿期是太古宙和古元古代,其次为中生代。

#### 1)太古宙

古太古代铁矿以分布于俄罗斯东萨彦地区的沙尔哲勒金(Shardzhelginskoe)铁矿为代表,该矿是一个大型变质铁矿。

中太古代的铁矿主要发育在俄罗斯境内阿尔丹地盾的西北部。该区集中分布有不少大型沉积—变质铁矿。其中包括戈尔基特(Gorkitskoe)、伊马雷克(Imalyksskoe)、克别克京(Kebektinskoe)和塔雷恩纳赫(Tarynnakhskoe)等。

新太古代铁矿主要分布在中国境内辽宁本溪—海城地区。矿床赋存于鞍山群中,为条带状含铁硅质建造。这类矿床还分布于河北冀东、内蒙古阴山地区和山西五台地区以及陕西略阳鱼洞子等地。

#### 2)元古宙

古元古代铁矿主要分布在俄罗斯阿尔丹地盾,包括杰索夫(Desovskoe)、塔耶日恩(Taezhnoe)等,多为大型矿床。其次,还分布在图瓦和伊尔库茨克等地。

中元古代铁矿分布于中国河北承德大庙地区,为岩浆型钒钛磁铁矿床。内蒙古白云鄂博的含铌钽

表 3 亚洲中部及邻区磷矿的成矿时代

Table 3 Metallogenic epochs of phosphorus deposits in Central Asia and adjacent areas

国别	成 矿 时 代					
中国	新太古代	(古元古代)	中元古代	新元古代	寒武纪 (早古生代)	晚古生代— 三叠纪
俄罗斯		古元古代		新元古代		(中—新生代)
蒙古国				新元古代		

表 4 亚洲中部及邻区石墨矿的成矿时代

Table 4 Metallogenic epochs of graphite deposits in Central Asia and adjacent areas				
成 矿 时 代				
中国	新太古代	古元古代	中—新元古代	(奥陶纪)
俄罗斯	(太古宙)		中—新元古代(里菲期)	(早古生代?)
蒙古国			新元古代	早泥盆世

表 5 亚洲中部及邻区铁矿的成矿时代

Table 5 Metallogenic epochs of iron deposits in Central Asia and adjacent areas				
成 矿 时 代				
中国	新太古代	中元古代	泥盆—石炭纪	侏罗—白垩纪
俄罗斯	古—中太古代	元古宙	古生代	三叠纪及晚白垩世—古近纪
蒙古国		(元古宙)	(古生代)	(中生代)
朝鲜半岛		元古宙		(中生代)

铁矿主要也形成于中元古代。

此外,在河北宣化发育赋存于中元古代长城系串岭沟组沉积建造中的铁矿,属浅海沉积型。吉林地区中元古代老岭群的陆源碎屑—碳酸盐岩沉积中也发育有这一时期的铁矿,规模虽小,但矿石很富。

中—新元古代时在俄罗斯境内发育大量里菲期铁矿。分布在阿尔丹地盾西北部的如戈列姆奇(Gremuchee)和亚佐夫(Yazovskoe)矿床,以及在叶尼塞河上游安加拉河地区的下安加尔(Nizhne-Angarskoe)矿床等,多为大型沉积矿床。

蒙古国境内也分布有古元古代—新元古代铁矿,但多为中—小型规模。

### 3) 早古生代

俄罗斯东部布列亚地区有早古生代的变质铁矿产出。其中苏塔尔(Sutarskoe)达大型规模,其余以中型为主。在勒拿河上游有中奥陶世沉积铁矿,包括佩特罗帕夫洛夫(Petropavlovskoe)和奥斯金纳(Oskina)等,均达大型规模。

蒙古国境内这一时期的铁矿均为小型或仅为矿点。

### 4) 晚古生代

中国这一时期的岩浆型铁矿以四川攀枝花—西昌地区的钒钛磁铁矿为代表。

在湖南、湖北、贵州、四川等地广泛发育泥盆纪沉积型铁矿。

在黑龙江北侧的俄罗斯境内分布早泥盆世层状铁矿床。其中米勒坎(Milkanskoe)为大型矿床,另有

不少中型矿床。伊特马京(Itmatineskoe)为形成于早—中泥盆世的SEDEX型矿床。

### 5) 中—新生代

在俄罗斯安加拉河上游地区广泛分布有矽卡岩型铁矿,达中—大型规模。矿床形成于三叠纪。

中国华北邯郸—邢台地区和济南—莱芜地区发育有著名的邯邢式铁矿。矿体产在燕山期闪长岩体与寒武—奥陶纪灰岩的接触带上,属矽卡岩型。长江中—下游及闽粤地区还广泛发育与中酸性岩浆岩有关的接触交代型铁(铜)矿床,如大冶铁矿。

蒙古国境内这一时期的铁矿以中—小型矽卡岩型铁矿为主。

在俄罗斯境内的西西伯利亚发育这一时期的沉积型铁矿。其中科尔帕舍夫(Kolpashevskoe)形成于晚白垩世—古近纪,巴克恰尔(Bakcharskoe)形成于古近纪,均为大型矿床(表 5)。

### 1.2.2 金(Au)

#### 1) 太古宙—古元古代

这一时期的金矿以绿岩型金矿为代表。在中国分布于华北克拉通北缘及其南缘的小秦岭和胶东等地。中国许多绿岩带中金矿的形成都与后期特别是中生代燕山期的花岗质岩浆活动的再富集作用有关。只有少部分仅形成于太古宙—古元古代,如河北的小营盘、内蒙的红花沟、辽宁的龙王庙、排山楼,河南的黄金沟和山东的纸坊等。

#### 2) 新元古代

中国四川平武至陕西勉县地区的金矿发育于



表 6 亚洲中部及邻区金矿的成矿时代

Table 6 Metallogenic epochs of Au deposits in Central Asia and Adjacent areas					
国别	成 矿 时 代				
中国	太古宙	古元古代	(泥盆—石炭纪)	中生代	第四纪
俄罗斯		新元古代	(早古生代)		第四纪
蒙古国		(新元古代)	(早古生代)	中生代	第四纪
朝鲜半岛				(侏罗—白垩纪)	第四纪

中—新元古代碧口群,集中分布在勉县—略阳—宁强的三角形地带。

此外,湖南沃溪金(铋钨)矿主要赋存于新元古代板溪群中;湖南龙山金(铋)矿矿化赋存在新元古代浅变质岩系中。

俄罗斯境内叶尼塞河上游分布有勃拉戈达特恩(Blagodatoe)、苏维埃(Sovetskoe)和蒂雷金(Tyrydinskoe)等新元古代金矿,多为大型脉状矿床。阿尔丹地盾的谢利格达尔(Seligdarskaya)金矿为新元古代风化壳型金矿,亦达大型矿床。此外,在东萨彦还发育有宗—哈尔鲍(Zun-Kholbo)和巴伦—霍尔宾(Barun-Kholbinskoe)等金矿,形成于新元古代—早寒武世。

蒙古国境内的阿勒坦托勒戈(Altantolgoi)金矿是一个形成于新元古代晚期的金矿床。

### 3) 早古生代

俄罗斯境内叶尼塞河上游分布有寒武纪的脉状金矿,一般为中型规模,如科穆纳罗夫(Kommunarovskoe)。在新库兹涅斯克地区发育矽卡岩型和脉型金矿床,亦达中型规模,如麦斯(Maiskoe)即为矽卡岩型矿床。在赤塔地区见有捷列姆金(Teremkinskoe)等矿床,为中型规模的脉状金矿。

蒙古国境内发育志留纪脉状金矿,如巴伦山德(Baruunshand)等,但规模很小。

### 4) 晚古生代

中国新疆伊宁阿希金矿、托利齐依求金矿等形成于石炭纪,为与火山作用有关的矿床。

蒙古国境内在泥盆纪发育有小型脉状金矿。

### 5) 中生代

在亚洲东部地区中生代是金的重要成矿时期。金矿类型主要有 3 种:

① 在太古宙—古元古代绿岩带基础上经后期岩浆活动形成的金矿床

中国北部的绿岩型金矿,主要分布在河北北部、胶东、吉林、辽宁等地。金矿的形成主要是在太古宙—古元古代绿岩“矿源层”基础上在中生代富集进一步形成的,如河北金厂峪、吉林夹皮沟和刺猬沟等。

河北北部金厂峪金矿产于中太古代迁西群拉马沟组角闪质岩石中。矿床具明显的层控特点。但与成矿有关的绢云母的 K-Ar 年龄为 191~155 Ma<sup>[2]</sup>。

胶东地区的金矿多形成于 132.5~97 Ma<sup>[3]</sup>。

吉林夹皮沟金矿产于太古宙鞍山群变质岩系的绿岩带中,但矿化与晚期花岗岩关系密切。金矿形成于 161~150 Ma<sup>[4]</sup>。吉林刺猬沟金银矿矿体主要受火山口边部环状和放射状断裂控制。火山岩的 Rb-Sr 等时年龄为 147.5 Ma<sup>[5]</sup>。

② 在古老变质岩区域内经中生代构造—岩浆活动生成的金矿床

在黑龙江等地有不少金矿产于元古宙地层中,但成矿常与花岗岩有关。这些矿床的形成可能经历元古宙的初步成矿和后期改造,特别是花岗质岩浆活动等多个成矿阶段。

黑龙江团结沟金矿矿区内见有燕山期花岗闪长斑岩侵入中元古代黑龙江群结晶片岩中。金矿体赋存在斑岩的内接触带和结晶片岩蚀变带中。与金矿化有关的花岗闪长斑岩的年龄为 100~112.6 Ma<sup>[6]</sup>。

中国小秦岭地区的金矿产于新太古代太华群斜长片麻岩中,但矿化亦形成于燕山期。如河南灵宝文峪金矿,该区与金矿脉紧密相关的岩体 K-Ar 年龄为 130~110 Ma<sup>[7]</sup>。陈衍景等<sup>[8]</sup>认为,小秦岭地区的金矿主要形成于 182~67 Ma,集中在 169.8~95 Ma。

③ 产于三叠系的微粒型金矿床

① 罗铭玖,王亨治,等.河南金矿概论.河南省地质矿产厅,1991.

中国川西松潘—甘孜地区的金矿,主要产于三叠系中。金矿体和矿化均赋存于三叠系黑色岩系中。

蒙古国境内早中生代金矿包括嘎楚尔特(Gachuurt)、纳兰托勒戈(Narantolgo)等脉状金矿,其中嘎楚尔特达大型规模。

朝鲜半岛地区发育侏罗纪和白垩纪的脉状金矿,但均为小型。

6)第四纪

这一时期在中国东北、蒙古国以及俄罗斯等地发育各种规模的砂金矿床,其中包括许多大型矿床。

1.2.3 铜(Cu)

1) 中—新太古代

中国辽宁清原县红透山的火山岩型块状铜—锌硫化物矿床属于这一时代。该矿床赋存于中—新太古代鞍山群红透山组中。

2) 古—中元古代

中国这一时代的铜矿分布较广。山西中条山铜矿产于古元古代中条群地层中。铜矿与变基性火山岩及中条运动引起的构造控制有关,成矿时代为古元古代(2108 Ma)<sup>[2]</sup>。内蒙古炭窑口铜—多金属矿矿床为 SEDEX 型,形成于 1900~1800 Ma<sup>[2]</sup>,属中元古代。中国云南的大红山铜矿为火山—沉积型矿床,矿床产于古元古代富钠质火山—沉积岩中。

甘肃金昌市金川(白家嘴子)铜—镍矿形成于中元古代,矿床赋存于中元古代超基性岩中。内蒙霍各乞铜矿和东升庙铜—多金属矿为 SEDEX 型,亦形成于中元古代。云南东川铜矿产于中—新元古代昆阳群白云岩内。

俄罗斯赤塔州北部的斯塔诺夫山脉以西发育以乌多坎(Udokanskoe)为代表的古元古代沉积铜矿,包括乌多坎和翁库尔(Unkurskoe)等。其中乌多坎为大型矿床,其余多为中型矿床。

3)新元古代

蒙古国境内可见形成于新元古代晚期的中型黄铁矿型矿床,如阿勒坦托勒戈(Altantolgoi)。

4)早古生代

甘肃白银厂小铁山铜—多金属矿是一个形成于中奥陶世的 SEDEX 型矿床。俄罗斯克麦罗沃地区,在西萨彦北侧发育寒武纪的黄铁矿型和矽卡岩型铜矿,其规模多为中型。

蒙古国境内早古生代发育脉状铜矿,多为小型矿床。

5)晚古生代

在中国黑龙江多宝山铜—钼矿,与成矿有关的花岗闪长斑岩的 K-Ar 年龄为 271~252 Ma<sup>[2]</sup>,矿床应形成于二叠纪。东天山岩浆型铜镍矿赋存于石炭纪基性杂岩中。阿尔泰喀拉通克岩浆型铜镍矿,含矿岩体形成于石炭—二叠纪。

俄罗斯赤塔地区发育有早二叠世斑岩铜矿,矿床规模为中型。

蒙古国境内的晚古生代铜矿包括斑岩型、脉型和矽卡岩型。如欧玉陶勒盖即为一超大型斑岩铜矿。

6)中生代

中国长江中下游广泛发育这一时期的铜矿。其中包括安徽铜陵铜官山和湖北铜录山等矽卡岩型铜矿。江西德兴斑岩铜矿也形成于中生代。

在俄罗斯赤塔地区有中—晚侏罗世的中型矽卡岩型铜矿发育。

7)古近纪

这一时期的铜矿见于西藏冈底斯成矿带和玉龙地区。玉龙斑岩铜矿与成矿有关的黑云母二长花岗斑岩年龄为 48~37 Ma<sup>[2]</sup>,属始新世。

由此可见,本区铜矿的主要成矿时代为元古宙,其次为晚古生代、侏罗—白垩纪和古近纪。

1.3 铝(Al), 铅(Pb), 锌(Zn), 钨(W), 锡(Sn), 钼(Mo), 汞(Hg), 锑(Sb)成矿:主要发生在显生宙的多期成矿

1.3.1 铝(Al)

1) 新元古代

这一时期的铝矿见于俄罗斯东萨彦地区。该区

表 7 亚洲中部及邻区铜矿的成矿时代

Table 7 Metallogenic epochs of Cu deposits in Central Asia and Adjacent areas

国别	成矿时代				
中国	(中-新太古代)	古—中元古代	(晚古生代)	侏罗—白垩纪	古近纪
俄罗斯		古—中元古代	(晚古生代)	(侏罗纪)	
蒙古国		(元古宙)	晚古生代	中生代	
朝鲜半岛				侏罗—白垩纪	

在新元古代晚期发育有大型沉积铝土矿矿床,如鲍克松(Boksonscoe)。

2) 泥盆纪

在俄罗斯泥盆纪是铝矿的重要成矿时期,包括岩浆型铝矿和沉积型铝土矿。岩浆型铝矿为主要类型,产于早—中泥盆世碱性的基性—超基性岩中,集中分布在萨彦岭以北的克拉斯诺亚尔斯克地区和哈卡斯地区;其次为东萨彦地区。矿床规模多为大型。沉积型铝土矿主要分布在西部靠近欧洲地区。

蒙古国地区亦存在早泥盆世岩浆型铝矿,包括贝尔特逊河(Beltesiin gol)等大型矿床。

3) 石炭—二叠纪

在中国北部,石炭纪是铝土矿的主要成矿时期。矿床均为古风化壳型。例如山西孝义克俄铝土矿、河南巩县小关铝土矿和河南新安张窑院铝土矿,矿床赋存在上石炭统本溪组中。

在中国南部,贵州修文小山坝铝土矿亦赋存于下石炭统中;广西平果那豆铝土矿则产于上二叠统。

4) 中—新生代

俄罗斯中生代的沉积型铝土矿具有明显的继承性,主要分布在萨彦岭以北的克拉斯诺亚尔斯克地区,形成于晚白垩世—古近纪。矿床规模一般为中型。包括上图罗夫(Verkhoturivskoe)、伊勃吉勃杰克(Ibdzhibdekskoe)等矿床。它们的形成显然与该区泥盆纪的岩浆型铝矿的风化和再沉积有关。

总之,本区的铝矿,在俄罗斯境内最早始于新元古代,但就整体而言,其主要成矿时代为晚古生代,

特别是泥盆纪和石炭—二叠纪。中生代时,局部地区在古老铝矿基础上再次发育沉积型铝土矿矿床。

1.3.2 铅锌(Pb, Zn)

1) 太古宙

中国辽宁红透山铜锌矿床产于太古宙绿岩中,与海底火山活动有关。

2) 古—中元古代

辽宁柴河铅锌矿产于中元古代汎河群白云岩中,矿床为沉积成因。辽宁青城子铅锌矿赋存于古元古代辽河群白云石大理岩中。

内蒙古东升庙锌(铅铜)矿床产于白云岩和炭质板岩中,赋矿地层为古元古代。

在河北兴隆县高板河和内蒙狼山等地见有这一时期的泥岩—细碎屑岩型铅锌矿。其中高板河铅锌矿赋存在中元古代长城系高于庄组的含锰页岩与白云岩之间。矿床为中型规模。

俄罗斯克拉斯诺亚尔斯克地区中元古代碳酸盐岩中也发育铅锌矿,如格列夫(Gorevskoe)为大型矿床。

朝鲜北部产有中元古代的超大型铅锌矿。

3) 早古生代

寒武纪时,在俄罗斯图瓦地区有黄铁矿型锌矿发育,如克兹尔—塔什蒂格(Kyzyl-Tashtygskoe)为大型矿床。

中国甘肃小铁山铅锌矿床产于寒武—奥陶纪细碧—角斑岩中,属海相火山—沉积型矿床。青海锡铁山铅锌矿床赋存在上奥陶统绿片岩中,亦为变质海相火山—沉积型矿床。

表 8 亚洲中部及邻区铝矿的成矿时代

Table 8 Metallogenic epochs of Al deposits in Central Asia and adjacent areas

成 矿 时 代			
中国		石炭—二叠纪	
俄罗斯	新元古代	泥盆纪	(晚白垩世—古近纪)
蒙古国		早泥盆世	

表 9 亚洲中部及邻区铅锌矿的成矿时代

Table 9 Metallogenic epochs of Pb-Zn deposits in Central Asia and adjacent areas

成 矿 时 代						
中国	(太古宙)	古—中元古代	早古生代	泥盆—石炭纪	(中生代)	(古近纪)
俄罗斯		古—中元古代	早古生代	(泥盆纪)		(晚白垩世—古近纪)
蒙古国					早中生代	
朝鲜半岛						(晚白垩世)

## 4) 晚古生代

俄罗斯滨海边疆区早泥盆世发育矽卡岩型锌矿,其中如沃兹涅先(Voznesenskoe)为中型矿床。阿尔泰地区发育晚泥盆世黄铁矿型铅锌矿,其中科柳奇科夫(Kryuchkovsoe)达中型规模。

中国甘肃西成铅锌矿赋存于中泥盆统细碎屑岩和碳酸盐岩中。广东凡口铅锌矿产于泥盆—石炭纪碳酸盐岩中。

## 5) 中生代

这一时期铅锌矿的类型很多,包括花岗岩型、矽卡岩型、斑岩型、陆相火山岩型和陆相砂砾岩型。

中国花岗岩型矿床有广西新华铅锌(银)矿床,含矿的堇青石黑云母花岗岩的 K-Ar 年龄为 258~221 Ma<sup>[8]</sup>。湖南东坡多金属矿矿床包括柿竹园、东坡山等,产于千里山花岗岩体接触带,千里山花岗岩的 K-Ar 年龄为 172Ma<sup>[9]</sup>。水口山矽卡岩型铅锌矿,与成矿有关的花岗闪长斑岩的 K-Ar 年龄为 147 Ma<sup>[10]</sup>。

蒙古国东部苏赫巴托尔省的托姆而丁敖包(Tomurtiin-Ovoo)矿床为大型矽卡岩锌矿,矿床形成于早中生代。

在朝鲜半岛南部晚白垩世有矽卡岩型锌矿形成。其中杰伊—永华(Jeyi-Yeonhwa)矿床达中型规模。

## 6) 古近纪

中国云南的金顶铅锌矿形成于这一时期。该矿床产于下白垩统与古近系之间的构造接触面上。

在俄罗斯滨海边疆区可见发育于晚白垩世—古近纪的矽卡岩型铅矿帕尔季赞(Partizanskoe)。该矿床达中型规模。

总之,铅锌矿的成矿时代较多,主要为古—中元古代、早古生代、晚古生代和早中生代。

## 1.3.3 钨锡(W, Sn)

## 1) 早古生代

中国这一时代的钨锡矿见于青海和湖南等地。青海塔儿沟钨矿床赋存于古元古代片岩、斜长

角闪岩和碳酸盐岩与加里东期的花岗闪长岩之间。矿床的形成经历了古元古代的初期沉积和加里东期花岗岩的改造、富集成矿两个阶段。

湖南沃溪钨金铋矿床赋存于新元古代板溪群中,但成矿可能是在寒武—奥陶纪。

## 2) 中生代

俄罗斯阿尔泰地区发育晚二叠世—三叠纪的大型钨矿。矿床的形成与云英岩—花岗岩有关,如科雷瓦诺(Kolyvanovskoe)钨矿。

中国内蒙的黄岗梁锡矿是一个矽卡岩型矿床,与成矿有关的钾长花岗岩的 K-Ar 年龄为 115~67 Ma(据沈阳地质矿产研究所,1980。转引自李希勤等<sup>[11]</sup>,1994)。河南三道庄钨钼矿亦形成于燕山期。

华南地区这一时期的钨锡矿分布很广。例如江西大吉山锡钨矿和西华山钨—稀土矿、湖南瑶岗仙钨矿和柿竹园钨(锡铋钼)矿、福建行洛坑斑岩型钨(钼)矿、广东莲花山钨矿、广西栗木锡矿和云南个旧的锡石—多金属硫化物矿和小龙河锡矿,等等。这些矿床均形成于燕山期。广西大厂锡矿一般认为是在泥盆纪时初步沉积,但是在燕山晚期时才形成矽卡岩型和锡石硫化物型锡—多金属矿床。

朝鲜半岛南部发育有晚白垩世的钨矿。其中大华(Daehwa)钨矿为脉型,上洞(Sangdong)钨矿为矽卡岩型,但规模仅为中—小型。

蒙古国的钨矿主要形成于晚中生代,其中包括大型脉状钨矿布嘎楞左格特(Bugarentsogt)、伊赫哈尔汗(Ikh Khairhan)和温都尔查干(Ondortsagaan)以及大型云英岩—花岗岩型钨矿图门左格特(Tumentsoigt)等。

俄罗斯赤塔州发育有侏罗纪脉状锡矿,如舍尔洛沃戈尔(Sherlovogorskoe)。同时该区还发育与云英岩—花岗岩有关的锡矿和脉状锡钨矿,一般为中型规模。在布里亚特发育大型脉状钨矿,其中包括英库尔(Inkurskoe)和霍尔托松(Kholtosonskoe)等。

表 10 亚洲中部及邻区钨锡矿的成矿时代

Table 10 Metallogenic epochs of W-Sn deposits in Central Asia and adjacent areas

		成 矿 时 代			
中国	(古元古代)	(早古生代)	中生代	(古近纪)	
俄罗斯		晚二叠世—三叠纪	中生代(侏罗纪为主)	晚白垩世—古近纪	
蒙古国			晚中生代		
朝鲜半岛	(中元古代)		晚白垩世		



## 3) 晚白垩世—古近纪

中国这一时期的有关矿床以云南来利山锡矿为代表。该矿与成矿有关的黑云母花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时年龄为  $(53.5 \pm 1.7) \text{Ma}^{[1]}$ 。

俄罗斯滨海边疆区发育有晚白垩世—古近纪的脉状及云英岩—花岗岩型锡矿和矽卡岩型钨矿,其中包括杜勃罗夫 (Dubrovskoe) 和克德罗沃 (Kedrovoe) 等大型锡矿床及沃斯托克-2 (Vostok-2) 等大型钨矿床。在邻近中国黑龙江的犹太自治州分布有大型火山岩型锡矿兴安 (Khinganskoe) 以及一些与云英岩—花岗岩有关的中型钨矿。哈巴罗夫斯克地区也见有晚白垩世大型脉状锡矿,如戈蒙 (Gomonskoe)。

由此可见,本区的钨锡矿虽然最早出现在早古生代,但主要形成于中生代,古近纪时在局部地区也有个别锡矿生成。

## 1.3.4 钼 (Mo)

## 1) 古生代—三叠纪

俄罗斯布里亚特的布图戈勒 (Butugolskoe) 是一个中型斑岩型钼矿,形成于晚奥陶世—早泥盆世。阿尔泰山地区的库勒比奇 (Kulbichskoe) 是一个中型脉状矿床,形成于中泥盆世。布里亚特地区发育扎尔奇欣 (Zharchikhinskoe) 等大型钼矿床。这些矿床的形成与二叠—三叠纪的火山活动有关。此外,哈里托诺夫 (Kharitonovskoe) 矿床为形成于二叠—三叠纪的大型脉状矿床。

在蒙古国色楞格河上游扎布汗省地区发育大型斑岩钼矿佐斯—乌尔 (Zos-Uul), 该矿床形成于晚二叠世。

中国陕西黄龙铺钼 (铅) 矿床是一个碳酸盐脉型矿床。钼 (铅) 矿产于石英方解石碳酸盐脉中。矿脉内钼铀钛铁矿的 U-Th-Pb 年龄为  $206 \text{Ma}^{[2]}$ , 属三叠纪。

表 11 亚洲中部及邻区钼矿的成矿时代

Table 11 Metallogenic epochs of Mo deposits in Central Asia and adjacent areas

成 矿 时 代	
中国北部	(三叠纪) 侏罗纪—白垩纪
俄罗斯	古生代—三叠纪 中生代
蒙古国	晚古生代 早中生代
朝鲜半岛	(侏罗纪)

## 2) 侏罗—白垩纪

侏罗—白垩纪是中国钼矿形成的主要时期。有关矿床包括:黑龙江五道岭矽卡岩型钼矿、辽宁杨家杖子矽卡岩型钼矿、辽宁兰家沟斑岩型钼矿床、河南南泥湖—三道庄斑岩—矽卡岩型钼—钨矿、陕西金堆城斑岩型钼矿和江西阳储岭斑岩型钼矿等。

俄罗斯赤塔地区发育中生代的脉状钼矿,多为中型矿床。其中库勒比奇 (Kulbichskoe) 为与云英岩—淡色花岗岩有关的大型钼矿,形成于中—晚侏罗世。

蒙古国境内的钼矿形成于中生代特别是早中生代,包括斑岩型、矽卡岩型和脉型等,多为中型矿床。其中霍尔—呼达格 (Khol-khudag) 为大型矿床。

朝鲜半岛发育侏罗纪的脉状钼矿。

由此可见,本区钼矿的成矿尽管在古生代—三叠纪时已经开始,但最重要的成矿时期为中生代,特别是侏罗—白垩纪。

## 1.3.5 汞 (Hg, Sb)

## 1) 早古生代

中国早古生代的汞锑矿主要分布在贵州地区,其中包括贵州木油厂、大碕喇和丹寨水银厂汞矿等。汞矿床产于寒武纪泥质白云岩中。

## 2) 晚古生代

这一时期的汞锑矿以陕西旬阳公馆汞锑矿为代表。矿床的主要容矿层位为泥盆系,特别是下泥盆统白云岩。湖南锡矿山锑矿为沉积—改造型,矿层赋存于上泥盆统灰岩中。

贵州晴隆锑矿床是一个海相火山岩型矿床。矿床产于下二叠统灰岩顶部与上二叠统玄武岩底部及所夹的火山碎屑岩中。

## 3) 三叠纪

甘肃崖湾锑矿是一个沉积—改造型矿床,矿床赋存于中三叠统灰岩中。

四川白玉孔马寺汞矿床受上三叠统流纹质火山岩控制,具一定层位,矿化均匀,与围岩为渐变过渡关系。

## 4) 中新世

江西宝山锑金矿区内发育古近纪—新近纪的基性—中酸性火山岩及超浅成岩脉。岩脉的岩性包括安山玄武岩、辉绿岩、闪斜煌斑岩和花岗斑岩等。其中闪斜煌斑岩与锑矿有成因关系。该锑矿为陆相火山岩型。辉绿岩及闪斜煌斑岩的形成晚于花岗斑岩。辉绿岩同位素年龄为  $9 \text{Ma}^{[3]}$ , 属中新世。

这里需进一步讨论的是,汞锑的成矿具有特殊性,其成矿一般经历了初期的沉积和后期的改造、富集、成矿两个阶段。因此,尽管它们赋存于古生代地层中,但其成矿却较晚。例如陕西旬阳公馆汞锑矿,根据对辉锑矿中微量铅的测定,其模式年龄为 176.1~105.1 Ma (Doe 值) 和 140.8~101.5 Ma (Stacey 值),即其成矿时代为燕山期<sup>[13]</sup>。

由此可见,中国境内的汞锑主要赋存于古生代和三叠纪地层中,个别在中新世,但主要成矿则是发生在中生代燕山期。

## 2 亚洲中部及邻区矿床的主要成矿时代与地球演化关系的初步探讨

综合上述情况,我们可以发现:在地球演化早期即前寒武纪,地壳中比较富含碳、硼、磷、镁、金、铁、铜等元素,而在晚期即显生宙后期,则富含铝、铅、锌、钨、锡、钼、汞、锑等元素。这些成矿元素具有如下特点:

### 2.1 地球演化早期的成矿元素

(1) 碳(C):前寒武纪石墨矿的集中发育可能与地球早期地壳和大气圈中氧丰度不高,碳不易形成氧化物,而易呈游离态存在有关;经变质后形成石墨矿。

(2) 硼(B)、磷(P):这两种元素系挥发分元素,说明在地球演化早期,地壳中相对富含这两种挥发分元素。这一现象与火山作用中富含这些元素类似。地球演化早期,在地壳发育较薄的情况下,发生在地壳中的作用可能近似一种泛火山作用。在自然界,比如在中国辽宁等地古元古界辽河群中,硼矿床均产于富含铁、铜和硼的变质火山岩系中,其中,硼经常与富镁岩石共生,并与地壳中的镁结合生成硼镁酸盐(硅镁石),形成相应的矿床。前寒武纪的内生磷矿,即产于基性岩中的磷矿,从自然角度来说是相当重要的。但经济意义较大的磷矿为沉积磷矿,而沉积磷矿主要是新元古代在古老地壳的基础上,经风化、搬运和再沉积作用形成的,故成矿高峰期比硼稍晚。

(3) 镁(Mg)、铁(Fe)、金(Au):这几种元素主要反映硅镁质地壳和地幔特点,说明在地球演化早期,镁铁质成分占据主导地位。太古宙和古元古代时绿岩带的存在,不仅标志着硅镁质地壳的存在,也标志着与之有关的铁、金矿的存在。

(4) 铜(Cu):有关的成矿作用主要为发生在元古宙、泥盆—石炭—二叠纪和侏罗—白垩纪的多期成矿。铜在地壳早期的成矿应当是与铁和金的共生有关。

### 2.2 地球演化晚期的成矿元素

(1) 铝(Al):在经济上有意义的铝矿即铝土矿的成矿高峰期出现在石炭—二叠纪。其矿床类型为沉积型。这一现象显然与显生宙后期硅铝质地壳的发育有密切关系。沉积型铝土矿的出现意味着硅铝质地壳的进一步发展。

(2) 铅(Pb)、锌(Zn)、钨(W)、锡(Sn)、钼(Mo):这些元素主要成矿于中生代。目前所知,铅、锌、钨、锡、钼等都是典型的硅铝质地壳元素。

(3) 汞(Hg)、锑(Sb):汞、锑初步沉积在古生代,但成矿则主要在中生代。一般说来,比铅、锌、钨、锡、钼成矿更晚。

由此可见,地壳成分的分异,即硅镁质地壳与硅铝质地壳的分异自新元古代之后有所加剧,并由此导致了不同地质时代成矿元素的差异。硅镁质地壳与硅铝质地壳的这种分异可能主要通过两种途径来实现:岩浆活动和沉积作用。岩浆活动,特别是花岗质岩浆活动导致了硅铝质成分从地壳深部分异出来向地壳上部迁移,并形成相应的矿床;前寒武纪结晶岩石及其后的沉积岩所经历的有关沉积作用则导致了上地壳中硅铝质成分从硅镁质地壳中分异出来,形成有关的沉积矿床或沉积—变质矿床。其结果,前寒武纪的成矿以铁、金、铜等金属矿床和硼、菱镁矿、滑石和石墨等非金属矿床为主,而铝、钨、锡、钼、铅、锌、汞、锑等矿床则到显生宙以后才进入成矿高峰期。显生宙的成矿作用在亚洲中部及邻区主要与晚古生代的华力西期构造—岩浆活动和侏罗—白垩纪的燕山运动有关。

笔者还注意到,在这些成矿元素中,主要成矿于前寒武纪的 C、P、B、Mg 均为元素周期表第 2~3 周期元素。在古老成矿基础上的多期成矿元素 Fe、Cu 为第 4 周期元素,但 Au 为第 6 周期元素。主要发生在显生宙的多期成矿元素 Al 属第 3 周期,铝在显生宙的成矿可能是受控于硅铝质地壳的发育;Zn 为第 4 周期元素,其余 W、Mo、Pb、Hg、Sb 均为第 5~6 周期元素。由此可见,在地球和地壳的演化历史中,第 2~3 周期的元素 C、B、P、Mg、Al 的成矿主要出现在早期,而第 4~6 周期的元素 Fe、Au、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Hg、Sb 的成矿主要出现在晚期。第 7 周期的元素,以铀系元素的铀(U)为例,中国铀矿成矿的时代范围虽然从 1900 Ma 到 300 Ma,但绝大多数集中在 120~70 Ma,而主要发生在所有钨(W)、锡(Sn)、钼

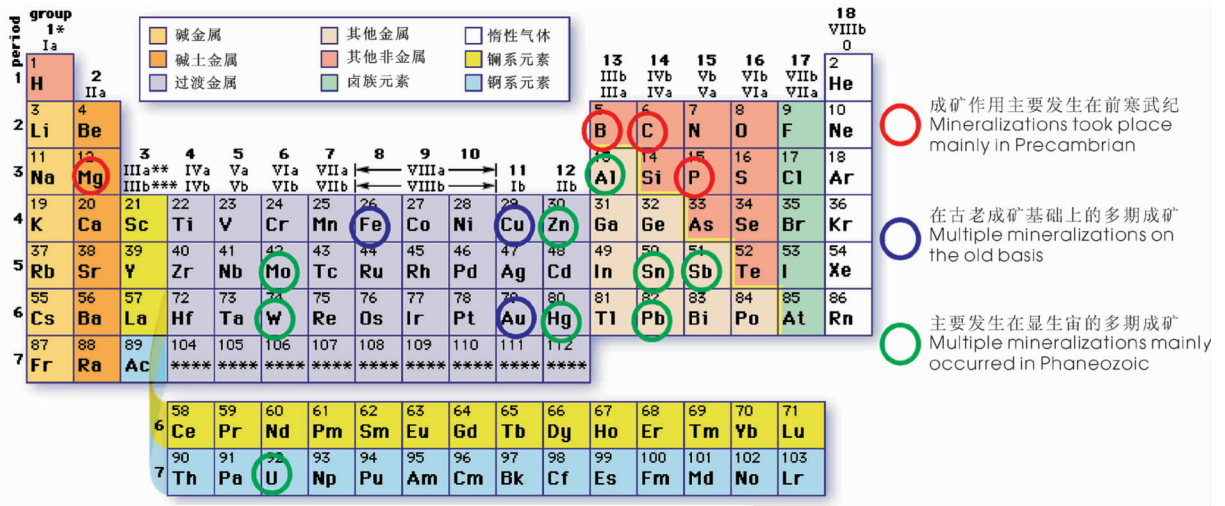


图 1 亚洲中部及邻区成矿元素在元素周期表中的位置  
Fig.1 Positions of ore-forming elements in Central Asia and adjacent areas in the Periodic Table

(Mo)、铋(Bi)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、铌(Nb)、钽(Ta)、稀土(REE)等矿化之后<sup>[4]</sup>。俄罗斯的铀矿,除极少数形成于早古生代或晚古生代外,绝大多数铀矿,特别是大型铀矿均形成于侏罗—白垩纪。由此可见,亚洲中部及邻区的成矿作用,在地壳演化早期以周期表前部的元素的成矿为特点,而在其晚期则以周期表后部的元素的成矿为特点(图 1)。随着地球或地壳的演化,成矿元素的原子结构由简单逐渐趋于复杂,其外层电子层数由 2~3 层(C, B, P 等)发展到多达 7 层(U)。

根据这一思路,在普查找矿中,寻找元素周期表前部的元素的矿床,应当主要在古老地壳地区(前寒武纪地层发育地区)进行;寻找周期表中部的元素的矿床,在古老地壳地区和年轻地壳地区都应注意;而寻找周期表后部的元素的矿床,则主要应在年青地壳发育地区,即年轻的地质、构造、岩浆及热液活动发育的地区进行。

然而,上面只谈到了地壳和岩石圈的情形。实际上,除了地壳和岩石圈的作用外,在地球的历史演化中,水圈、大气圈和生物圈的作用也是极为重要的。显生宙以来,特别是晚古生代和中生代以来,地球上的水圈、生物圈和大气圈进一步发育,导致了外生矿床特别是沉积矿床的形成,伴随着不少金属和非金属成矿元素的再循环,形成新时代的矿床,使成矿元素的演化趋势不断复杂化。其中特别值得注意的是

碳、氢和氧的再循环。晚古生代以后,在地球上水圈和生物圈发育的同时,大气圈的成分也发生了剧烈变化。光合作用在生物圈和大气圈之间碳、氢和氧的交换中起着极为重要的作用。其结果,各种生物的繁衍,特别是植物的生长以及碳氢化合物的生成便大规模地导致了碳、氢和氧的再循环,形成了自晚古生代以来大量生成的煤和特别是中生代以来大量生成的石油和天然气。

致谢:本文草成以后,承蒙耿树方研究员审阅并提出宝贵意见,谨致谢忱!

参考文献(References):

[1] 李悦言, 罗益清, 东野脉兴, 等. 中国磷矿床 [C]//中国矿床编委会. 中国矿床(下册). 北京:地质出版社, 1994.  
Li Yueyan, Luo Yiqing, Dongye Maixing, et al. Phosphorus deposits in China [C]//Editorial Board for Mineral Deposits in China. Mineral Deposits in China (Volume Three). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).

[2] Petrov O, Morozov A, Kiselev E, et al. (eds.). Metallogenic Map (Scale 1:2 500 000), Atlas of Geological Maps of Central Asia and Adjacent Areas. Published by VSEGEI Cartographic Factory, 2008.

[3] 林文蔚, 殷秀兰. 胶东金矿成矿流体同位素地质研究 [J]. 矿物岩石学杂志, 1998, 17(3):249-259.  
Lin Wenwei, Yin Xiulan. Isotope geological characteristics of mineralizing fluids of gold deposits in Jiaodong area [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1998, 17(3):249-259 (in Chinese with English abstract).

[4] 林文蔚. 金矿床[C]//赵一鸣, 吴良士, 等(主编). 中国主要金属矿

- 床成矿规律. 北京:地质出版社, 2004.
- Lin Wenwei. Gold deposits[C]//Zhao Yiming, Wu Liangshi, et al. (ed.). Metallogeny of the Major Metallic Ore Deposits in China. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).
- [5] 徐恩寿, 靳毓贵, 朱奉三, 等. 中国金银铂矿床[C]//中国矿床编委会. 中国矿床(中册). 北京:地质出版社, 1994.
- Xu Enshou, Jin Yugui, Zhu Fengsan, et al. Gold, silver and platinum deposits in China[C]//Editorial Board for Mineral Deposits in China(ed.). Mineral Deposits in China (Volume Two). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [6] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社, 1992.
- Chen Yanjing, Fu Shigu. Metallogeny of Gold Deposits in Western Henan[M]. Beijing: Seismological Press, 1992(in Chinese).
- [7] 葛朝华, 孙海田, 周太和. 中国铜矿床[C]//中国矿床编委会. 中国矿床(上册). 北京:地质出版社, 1994.
- Ge Chaohua, Sun Haitian, Zhou Taihe. Copper deposits in China [C]// Editorial Board for Mineral Deposits in China (ed.). Mineral Deposits in China (Volume One). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [8] 涂光炽, 等. 中国铅锌矿床[C]//中国矿床编委会:中国矿床(上册). 北京:地质出版社, 1994.
- Tu Guangchi, et al. Lead and zinc deposits in China [C]// Editorial Board for Mineral Deposits in China (ed.). Mineral Deposits in China (Volume One). Beijing: Geological Publishing House, 1994 (in Chinese).
- [9] 康永孚, 苗树屏, 李崇佑, 等. 中国钨矿床 [C]//中国矿床编委会. 中国矿床(中册). 北京:地质出版社, 1994.
- Kang Yongfu, Miao Shupin, Li Chongyou, et al. Tungsten deposits in China [C]//Editorial Board for Mineral Deposits in China(ed.). Mineral Deposits in China (Volume Two). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [10] 罗海晏, 杜心培, 姜翠萍. 湖南省地质[C]//马丽芳(主编). 中国地质图集.北京:地质出版社, 2002.
- Luo Haiyan, Du Xinyu, Jiang Cuiping. Geology of Hunan Province[C]//Ma Lifang (ed.). Atlas of Geological Maps of China. Beijing: Geological Publishing House, 2002(in Chinese).
- [11] 李希勤, 杨庄, 施琳, 等. 中国锡矿床 [C]//中国矿床编委会. 中国矿床(中册), 北京:地质出版社, 1994.
- Li Xiji, Yang Zhuang, Shi Lin, et al. Tin deposits in China[C]// Editorial Board for Mineral Deposits in China (ed.). Mineral Deposits in China (Volume Two). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [12] 黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 等. 一种新的钼矿床类型—陕西黄龙铺碳酸盐脉型钼(铅)矿床地质特征及成矿机制 [J]. 地质学报, 1985, 59(3).
- Huang Dianhao, Wang Yichang, Nie Fengjun, et al. A new type of molybdenum deposit—geological characteristics and ore-forming mechanism of molybdenum (lead) deposits of the carbonate dyke type in Huanglongpu of Shaanxi[J]. Acta Geologica Sinica. 1985, 59(3) (in Chinese with English abstract).
- [13] 乌家达, 肖启明, 赵守耿. 中国锑矿床[C]//中国矿床编委会”. 中国矿床(上册). 北京:地质出版社, 1994.
- Wu Jiada, Xiao Qiming, Zhao Shougeng. Antimony deposits in China [C]// Editorial Board for Mineral Deposits in China (ed.). Mineral Deposits in China (Volume One). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [14] 黄绍显, 杜乐天, 谢佑新, 等. 中国铀矿床[C]//中国矿床编委会. 中国矿床(中册). 北京:地质出版社, 1994.
- Huang Shaoxian, Du Letian, Xie Youxin, et al. //Uranium deposits in China [C]// Editorial Board for Mineral Deposits in China (ed.). Mineral Deposits in China (Volume Two). Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).



## The evolutionary tendency of ore-forming elements in Central Asia and adjacent areas

CHEN Ting-yu

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** Mineralizations in Central Asia and adjacent areas were dominated by C, B, P, Mg, Au, Fe and Cu in the early stage (in Precambrian) of evolution of the earth, and by Al, Pb, Zn, W, Sn, Mo, Hg and Sb in the late stage (in late Phanerozoic).

Carbon (graphite) dominated in Precambrian might have been related to the low oxygen fugacity in the crust and the atmosphere in the early stage of the earth; in that case carbon was not easy to be oxidized. B and P are volatile elements, hence their enrichment in Precambrian may imply that the crust was relatively enriched with B and P in the early stage of the earth. Mg, Fe and Au compositions indicate that the crust was rich in these elements at that time. Cu mineralization took place repeatedly in Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic. Economically important Al deposits, i.e., bauxite deposits, presented peak mineralization in Carboniferous and Permian, as can be seen in China. Pb, Zn, W, Sn, Mo deposits were formed in Mesozoic. Hg and Sb, though primarily deposited in Paleozoic, were mainly formed in Mesozoic, even later than Pb, Zn, W, Sn, Mo mineralizations.

In the Periodic Table, C, B, P, Mg and Al belong to Periods 2–3. The mineralizations of these elements mainly took place in Precambrian; Fe, Au, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Mo, Hg and Sb belong to Periods 4–6. Mineralizations of these elements mainly took place in the late stage of the evolution of the earth. Uranium (U) belongs to Period 7. The U mineralization in China almost all appeared after mineralizations of W, Sn, Mo, Bi, Fe, Cu, Zn, Nb, Ta and REE. In other words, in the evolutionary history of the earth, the atomic structures of ore-forming elements become more and more complex, while the outer electronic layers increase from 2 or 3 layers (C, B, P, etc.) up to 7 layers (U).

In ore-prospecting, therefore, to look for mineral deposits of the elements in the upper part of the Periodic Table, we should conduct relevant prospecting work in old crustal regions (Precambrian regions); to look for those in the middle part of the Periodic Table, we should take into account both old and young crustal regions; to look for those in the lower part of the Periodic Table, we should carry out relevant work in the regions where young geological, tectonic, magmatic and hydrothermal activities are developed.

Since Phanerozoic, especially since Late Paleozoic and Mesozoic, further developments of the hydrosphere, atmosphere and biosphere have made the evolutionary tendency further complicated; the formation of sedimentary deposits, especially the recycles of C, H and O, have resulted in the generation of large amounts of coal, petroleum and natural gas.

**Key words:** Central Asia; metallogenic elements; evolutionary tendency; history; periodic table of elements

---

**About the first author:** CHEN Ting-yu, male, born in 1940, mainly engages in the study of ore deposits, granite petrology and Antarctic geology.