维普资讯 http://www.cqvip.com

16卷 3期 河北地质学院学报 Vol. 16 No. 3
1993年 JOURNAL OF HEBEI COLLEGE OF GEOLOGY 1993

93,1603)
215-22

中国铅锌矿床的元素组合及时空演化特点

张 乾
(中国科学院地球化学研究所)

P618.420.4

摘 要 中国铅锌矿床的成矿元素可划分出23种元素组合。不同成因矿床、地质历史中5个大的铅锌成矿期及不同的大地构造单元，都有各自不同的占主导地位的元素组合类型。矿床成因从沉积到岩浆到多成因叠加，从地质历史的早期到晚期，从相对稳定的沉积盆地到剧烈的构造岩浆作用带，元素组合从简单的1—2元素组合演变为复杂的多元素组合。元素组合的复杂性是中国大陆频繁剧烈的地壳构造运动导致多种成矿作用的存在及其相互叠加的结果。

关键词 铅锌矿床，元素组合，时空演化特点

中国大陆各地质时期各种构造环境中都有铅锌矿床形成。矿床成因的多样性，元素组合的复杂性在其他国家是少见的。本文在讨论我国铅锌矿床的元素组合特点及其与矿床成因关系的同时，探讨元素组合的时空演化特点。

1 铅锌矿床元素组合的概念及划分依据

铅和锌是铅锌矿床中最主要的有用元素，但铅锌矿床所包含的有用元素远不止这两个元素。迄今为止，在铅锌矿床中已发现的有用元素有Pb、Zn、Cu、Fe、Ag、Au、Sn、W、Bi、Sb、Mo、Hg、Mn、Cd、Se、Te、Ga、In、Ge、Ti、S、F等。并非所有这些元素在每一个铅锌矿床中都具有经济价值，有的可以综合利用，有的仅具指示意义；有的在一些矿床中可以成为主要有用元素，其经济价值甚至不亚于铅和锌，而在另一些矿床中成为微量伴生元素。即使作为主元素的铅和锌，也并非在所有铅锌矿床中两者都同等重要，有些矿床以铅为主，有些则以锌为主，甚至出现铅和锌的两个端元(即单铅和单锌)矿床。

因此，通常所指的铅锌矿床，是成矿元素以不同比例和不同方式组合而成的一组矿床。不但包括了Pb和Zn共存的矿床，也包括了单一Pb矿、Pb—Cu矿这些Zn不具工业意义的矿床和单一Zn矿、Zn—Cu矿、Zn—S矿这些Pb居次要地位的矿床，以及Pb—Zn—Ag(Au)、Pb—Zn—Cu—Fe、Pb—Zn—Cu—Mo(Sn)、Pb—Zn—Fe—W—Bi等多金属矿床。

由于中国大陆地质历史中构造运动频繁这一特殊性导致了铅锌成矿作用的多样性、成矿物质的多源性和矿床演化的多阶段性，致使大多数铅锌矿床的形成经历了多种成矿

收稿日期：1992-6-1、刘亚民编辑并校对

维普资讯 http://www.cqvip.com

作用的改造和叠加，造成了我国铅锌矿床成矿元素种类的多样性和复杂性。因此，有必要用元素组合的概念来概括和描述我国铅锌矿床成矿元素之间的组合搭配关系及除铅锌外的其他成矿元素在矿床中的地位和作用。

元素组合是指在一定的地质及成矿作用中，共同富集于同一矿床的成矿元素之间的组合，既包括地质意义上的元素共生组合，也包括不同期次、不同成因叠加到同一矿床的有用元素。因此，元素组合代表成矿元素之间的共生与共存关系。

根据这一定义，我们可以从以下几点出发来划分铅锌矿床的元素组合：

(1)将成矿元素中具有经济价值的那些元素作为元素组合的主要元素。某些具有成因指示意义并可综合利用的元素如Hg、Mn等也使其进入元素组合。例外的是，Cd、Ti、Ga等稀散元素虽然在大多数矿床中均具综合利用价值，但由于它们存在形式的分散性和在矿床中的普遍性，不宜加入元素组合。

(2)Ag在几乎所有的铅锌矿床中可综合回收，因此，只有当矿床的Ag含量达到独立银矿床边界品位(50g/t)左右或以上时，才参加元素组合划分。

(3)黄铁矿是铅锌矿床中最普遍的矿物之一，但含量因不同矿床而异，当其大量存在并具工业价值时才参加元素组合划分。

(4)某些元素如F(萤石)、Ba(重晶石)等的大量出现常和某种矿床类型有关，因而也单独划分出来。

2 我国铅锌矿床元素组合类型及特点

根据以上原则及我国铅锌矿床成矿元素组合特征，划分出23种元素组合(表1)。

表1是我国铅锌矿床元素组合的主要类型，随着铅锌矿床研究和开发利用的不断深入，会有更多的伴生元素成为主要有用元素，元素组合的种类也会随之增多。

上述元素组合，归纳起来，主要有以下特点：

(1)铅锌矿床元素组合中以亲硫元素占主导地位，亲石元素(F、Sr、Ba、W、U、Mn)居次要地位。除S、F外，余为金属元素。

(2)亲硫元素除Au、Ag常以自然元素及Au、Ag互化物形式存在外，其余均为硫化物及硫盐类矿物，少数(Hg)呈分散状态。亲石元素存在形式变化大，如Sr、Ba形成硫酸盐，W有黑钨矿和白钨矿，Mn有菱锰矿、软(硬)锰矿。

(3)Fe是典型变价元素，兼具亲硫、亲石和亲铁的多重性质，在铅锌矿床中以多种形式普遍存在。黄铁矿最普遍，所有矿床中均可见到。Fe的其他形式常和一定类型的矿床有关，如沉积及沉积改造矿床中白铁矿、菱铁矿与黄铁矿共存；沉积变质(混合岩化)矿床中出现大量磁黄铁矿；岩浆热液及矽卡岩型矿床中黄铁矿与磁铁矿(有时有赤铁矿)共存。

(4)一般来说，硫化物形成于还原环境，而Sr和Ba的硫酸盐矿物，Fe、Mn、W的碳酸盐矿物及它们的氧化物矿物是氧化环境下的产物。这两种不同环境下形成的矿物常共存于铅锌矿床中，其原因是复杂的，地质上的下列现象可以解释部分原因：(1)不同成矿阶段形成不同矿物，如矽卡岩化阶段常有磁铁矿形成，而硫化物形成于矽卡岩化后的热液矿化阶段；(2)有些矿物或元素常是不同成因叠加的结果，如金顶矿床铅主要来自地幔，而Sr(天青石)可能是沉积改造的产物[1]；大宝山矿床的W可能和岩浆热液叠加有关[2]；(3)不

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1　中国铅锌矿床元素组合及主要特征

	元素组合种类	矿床实例	主要矿物组成	矿床类型	其他
1	单 Pb 元素	姚安、北衙、西榆皮、保安	方铅矿、伴生 Cu、Zn、Ag（Au）	斑岩型、砂岩型、混合岩化	有时 Au 达一定规模
2	Pb－Zn	西秦岭矿带、会泽矿田、滥塘、关门山、青城子、黄沙坪、夏山、花牛山	方铅矿、闪锌矿、有时黄铁矿较高	热水沉积、沉积改造、岩浆热液、复合成因	Zn＞Pb，伴生 Cd、Ag
3	Pb－Cu	阿尔巴列克	方铅矿、黄铜矿	沉积改造	Zn 很少
4	Pb－Zn－S	甲生盘、高板河、小铁山	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿	热水沉积、火山热液	伴生 Ag、Cd
5	Pb－Zn－Fe（菱铁矿）	观音山、凡口、杉树林	方铅矿、闪铁矿、菱铁矿	沉积改造	Fe 可呈单独矿体，也可与 Pb、Zn 共生
6	Pb－Zn－Hg	老河、金鸡	方铅矿、闪锌矿	后成矿床	Hg 呈分散状态于硫化物中
7	Pb－Zn－U	二顶	方铅矿、闪锌矿、沥青铀矿	沉积改造	U 既呈独立矿体，又与 Pb、Zn 共生
8	Pb－Zn－Mn	栖霞山、后江桥	方铅矿、闪锌矿、菱锰矿、钙菱锰矿	沉积改造	少量锰方解石、软（硬）锰矿
9	Pb－Zn－Ba	乐梅、锡铁山	方铅矿、闪锌矿、重晶石	沉积改造、火山作用	伴生 Ag、Cd，锡铁山伴生 Ag、Au
10	Pb－Zn－Sr	金顶、乌拉根	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、天青石	沉积改造、复合成因	Sr 可呈独立矿体
11	Pb－Zn－F	铁林、潘家冲	方铅矿、闪锌矿、萤石	热液成因	
12	Pb－Zn－Ag	冷水坑、银山、五部、麻邓、银洞沟、银铜子	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、自然 Ag、辉银矿、深（浅）红银矿	斑岩型、岩浆热液、火山岩型、热水沉积	伴生 Cu、Cd、Ag 与 Pb、Zn 共生
13	Pb－Zn－Au	水口山、康家湾、七宝山、金山、留龙、夹皮沟	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂及含 Au 矿物	岩浆热液、矽卡岩型、沉积变质—叠加改造	伴生 Cu、、Ag、Cd、Au 与硫化物关系密切
14	Pb－Zn－Co	江西七宝山	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钴矿、钴毒矿	岩浆热液	含钴矿物还有镍辉钴矿、铁硫砷钴矿等，伴生 Cu、Cd、Ag…
15	Pb－Zn－Ag－Au	庞西洞	方铅矿、闪锌矿、Au、Ag 矿物	破碎带地下热水	
16	Sn－Sb－Pb－Zn	大厂	锡石、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、大量 Pb、Sb 硫盐矿物	热水沉积—热液叠加	伴生 Ag、Au、Cd…
17	Pb－Zn－Cu－Mo	香炉	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿	斑岩矽卡岩型	矿化分带明显，少量矿物种类多，伴生 Ag、Au、Cd 等
18	Pb－Zn－Cu－Ag－Fe（磁铁矿）	铜仁	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁铁矿、辉银矿、自然 Ag	矽卡岩型	含 Cu 矿物还有斑铜矿、黝铜矿，矿化分带明显
19	Pb－Zn－Cu－W－Fe（菱铁矿）	大宝山	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿黄铜矿、菱铁矿、白钨矿、黑钨矿	复合成因	黑钨矿呈石英脉型，菱铁矿可呈独立矿体
20	Pb－Zn－Cu－Sn－W－Bi(Mo)	锡板坑、东坡矿田	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、锡石、黑（白）钨矿、辉铋矿等	岩浆热液	矿物组成复杂，常伴生磁铁矿、辉钼矿等
21	Zn－Cu	拉么、狮各乞、红透山	闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿	矽卡岩型、热水沉积、火山作用	Pb 很少
22	Zn－S	东升庙、炭窑口	闪锌矿、黄铁矿	热水沉积	Pb 很少
23	单 Zn 元素	坨沟	闪锌矿	热水沉积—变质	少量黄铁矿，Pb 很少

维普资讯 http://www.cqvip.com

同形成环境的矿物共生可能和成矿条件的波浪性变化有关。

(5)有些元素组合中包括了不同成因类型的铅锌矿床，如 Pb—Zn、单铅、Pb—Zn—S 组合等。但每一种成因类型的矿床，总有一种或几种占主导地位的元素组合，有些元素组合为某种矿床类型所特有。与岩浆活动有关的矿床以含 Mo、Bi、W、Sn、Cu、Au、Co 及高温矿物组合的多元素组合为主，如桓仁、香炉、佛子冲、锯板坑、东坡等矿床；火山岩型及次火山岩型(斑岩型)矿床以 Pb—Zn—Ag 及 Zn—Cu 组合为主，如红透山、五部、麻邓、冷水坑等；泥岩—细碎屑岩容矿型热水沉积矿床以 Zn—S、Pb—Zn—S 组合为主，如东升庙、高板河等；沉积改造矿床元素组合种类较多，其中含 U、Mn、菱铁矿的组合为该类矿床所特有；Pb—Zn—Hg 组合仅见于后成矿床。因此，这些元素组合对矿床成因具有一定的指示意义。

(6)矿床成因从单一到多成因，或成矿温度从低到高，元素组合有变复杂的趋势，如热水沉积型、沉积改造型及火山岩型矿床多为 1～3 元素组合；与岩浆活动有关的矿床及复合成因矿床多为 3～5 元素组合。

(7)我国铅锌矿床元素组合具有种类多、组合复杂的特点，这是由于中国大陆频繁的地壳运动及强烈的构造—岩浆作用导致各种成矿作用的存在及不同成矿作用的相互叠加造成的。

3 我国铅锌矿床元素组合的时空演化特点

3.1 铅锌矿床元素组合的时控特征

中国铅锌矿床有着很强的时控性[3,4]，这和铅锌成矿作用随时间的演化有密切关系。每一个地质时代总有占主导地位的成矿作用发生，因而使得铅锌矿床及其元素组合随时间的分布呈现一定的规律性。

在我国，铅锌矿床最早出现于太古代，如红透山，矿床与海底火山作用有关，成矿作用单一，矿床数量少，元素组合以 Zn—Cu 为主，Pb 很少。太古代原始陆核在早元古代(约 1900～2500Ma 间)开始解体，分异出槽—台及原始的优—冒地槽构造单元[5]，成矿作用开始转折，Pb 进入矿床形成零星分布的单铅矿床，如西榆皮。进入中元古代，地球的圈层构造逐步形成，优—冒地槽发育成熟，大气圈及水圈逐步富氧，成矿作用发生了根本转变，以形成产于冒地槽相泥岩—细碎屑岩中的海底热水沉积矿床为主，常构成大的成矿带[6]，在中国大陆及世界其他许多地方形成一大批以 Pb—Zn、Pb—Zn—S、Zn—S 等元素组合为主的铅锌矿床，如我国的狼山成矿带、燕山成矿带、澳大利亚的布罗肯希尔、芒特艾萨、麦克阿瑟、加拿大的沙利文等。古生代地壳运动进入全新的局面，地球已分异出近于现代的圈层构造，构造运动频繁剧烈，岩浆活动发育，生物群体大量出现，铅锌成矿出现新的高峰，高峰期首推泥盆纪和石炭纪，以冒地槽中的热水沉积成矿作用、碳酸盐台地的沉积改造成矿作用及褶皱造山带的海底火山作用为主，形成了一大批以 Pb—Zn、Pb—Zn—S、Pb—Zn—Ba、Pb—Zn—Mn、Pb—Zn—菱铁矿、Pb—Zn—U 等组合为主的层状、似层状铅锌矿床，如西秦岭成矿带，分布于滇黔桂湘粤的泥盆纪沉积改造矿床及祁连褶皱带的锡铁山、小铁山等。中生代地壳运动以频繁剧烈的构造岩浆活动为主，总体上不出现象元古代和古生代那样大的沉积旋回(局部例外)，构造运动以断裂为主，板块运动使当今陆地的大

维普资讯 http://www.cqvip.com

部分逐步进入造陆阶段。铅锌成矿作用以与岩浆作用有关的接触交代、热液充填和地下热水成矿以及对早先形成的矿床或矿源层的改造、再造作用为主，参与成矿的主体除岩浆岩和热液外，构造及地层也起着相当重要的作用。这一时期复杂的成矿作用以形成大量多元素组合的脉状铅锌矿床为主。现今的海陆分布格局在新生代已基本形成，地壳运动除局部活动构造带外处于相对稳定状态，铅锌成矿作用见于某些裂谷型冒地槽区（如红海）和洋底热活动区（如洋中脊），并以海底热水沉积成矿为主，元素组合较为简单，常以 Zn—Cu、Pb—Zn、Pb—Zn—Cu(Ag)（红海、东太平洋隆起等）、Zn—Mn—Fe（大西洋 TAG 区、地中海等）为主[7]，成矿作用特点与中元古代类似。可以大胆地推测，进入新生代后，在那些活动构造带如板块俯冲带、碰撞带等，岩浆侵入活动以及伴随的铅锌成矿作用可能已经或正在发生，大陆地壳内地下热水成矿及不同成因叠加成矿也可能更广泛地在进行。事实上，这方面已经有了一些例子，如金顶铅锌矿床及地表热泉系统的成矿作用。因此可以推想，新生代铅锌成矿作用及形成的元素组合将比中生代更加复杂，只不过发生于地壳深处的那些成矿作用还不为我们所知而已。

总之，地球历史中的铅锌成矿作用，基本上可以划分为上述 5 个大的成矿期，即太古代、中元古代、古生代（尤其是晚古生代）、中生代及新生代。其他地质时代也有一些铅锌矿床形成如分布于川滇地区震旦纪晚期碳酸岩中的一些沉积改造及后成矿床（如金沙、天宝山、大梁子等）。但它们的分布是零星的，在铅锌矿床中占的地位并不重要。

从以上的讨论可以看出，铅锌矿床元素组合的时间演化有以下特点：

(1)在地质历史中，从早到晚，铅锌矿床成因类型增多，元素组合随之变得越加复杂。

(2)铅锌矿床元素组合中，太古代仅见 Zn—Cu 组合，元古代 Pb 开始成矿，古生代 Fe（菱铁矿）、Mn、U、Ba 等进入铅锌矿床，中生代增加了 Sn、W、Mo、Bi、Au 等。这种演化的机理可能相当复杂，这里只强调一点，后来逐步加入铅锌矿床的这些元素大多是丰度低且趋于在中酸性岩或沉积岩中富集的元素，只有当地球经过多旋回的构造演化和发生强烈的分异之后，它们才有可能参与成矿。

(3)从元古代开始形成与沉积作用有关的铅锌矿床及元素组合。可能的原因之一是元古代及以后的水体变为氧化环境，适于 Pb、Zn 硫化物矿床形成的还原环境只在水体的某些局部部位生成，氧化水体中的 Pb、Zn 等只有汇集到这种局部还原环境中才能迅速沉淀下来，从海底喷出的含金属热液进入还原环境也可迅速沉淀，不至于扩散到整个氧化水体中去[6]。

3.2　铅锌矿床元素组合的空间分布特征

铅锌矿床的元素组合在空间上的分布规律可以简略地概括为以下几点：

(1)大多数元素组合在同一矿床中具有分带性。例如与岩浆活动有关矿床的元素组合，在岩体内常为 Mo、Bi 矿化带，接触带靠岩体一侧常为 Cu、Zn、Fe 富集带，靠围岩一侧常为 Pb—Zn 富集带。在垂直方向上，大多数矿床都有上部富铅、下部富锌的特点。

(2)在同一矿床内，元素组合中的各种元素可以是共生的，也可以呈独立矿体，这种现象在 Pb—Zn—Mn、Pb—Zn—U 等组合中是常见的。

(3)元素组合在区域上的分布与矿床类型的区域性分布一致，主要受不同类型矿床产出的大地构造单元控制。例如，与岩浆活动有关的铅锌矿床及其元素组合主要分布于环太

维普资讯 http://www.cqvip.com

平洋构造岩浆作用带和我国华南地壳剧烈活化区；热水沉积型铅锌矿床及其元素组合分布于线状冒地槽褶皱带；产于碳酸岩中的沉积改造矿床及其元素组合分布于碳酸盐台地；砂砾岩型铅锌矿床及其元素组合分布于古陆边缘不整合面之上不远处[8]，等等。

(4)有些构造单元中产出同一时代同一类型的铅锌矿床，如祁连褶皱带主要产出古生代海相火山岩型矿床，西秦岭、狼山、燕山冒地槽带主要产出热水沉积矿床。有些构造单元中往往形成不同时代不同成因的矿床，如华南地区，泥盆纪形成大量沉积改造矿床，而印支—燕山期又形成大量岩浆热液矿床。这和同一构造单元所经历的构造演化的复杂程度有关，构造演化越复杂，形成的矿床类型越多，元素组合也就越加复杂多变。沉积变质混合岩化—岩浆气液叠加及沉积改造—岩浆气液叠加形成的复合成因矿床也常分布于这种经过多旋回演化的复杂的构造单元中如大厂、青城子、金顶等。

总之，铅锌矿床元素组合的时空分布规律是由于矿床自身的时空分布规律造成的，最主要的控制因素是不同大地构造单元各自的演化特点及各构造单元中占主导地位的成矿作用。深入研究这一点对找矿和发展成矿理论都具有重要意义。

4 结论

(1)我国铅锌矿床具有复杂的元素组合，大致可划分出23种主要的元素组合类型。

(2)元素组合和复杂性是由于中国大陆频繁剧烈的地壳运动导致各种铅锌成矿作用共存及不同成矿作用相互叠加造成的。

(3)不同成因类型的铅锌矿床有着不同的元素组合，有些元素组合为某种类型的矿床所特有。Pb－Zn－Mn、Pb－Zn－U及Pb－Zn－Fe(菱铁矿)组合属沉积改造矿床，Pb－Zn－Hg组合属后成矿床，岩浆热液及矽卡岩型矿床以含W、Sn、Mo、Bi、Au、Cu、Fe(磁铁矿)的多元素组合为特征。

(4)在地质历史中，从早到晚，铅锌矿床元素组合从简单到复杂的规律与地史中5个大的成矿期成矿作用从简单到复杂的规律一致。

(5)不同的大地构造单元中总有占主导地位的成矿作用及铅锌矿床类型，因而造成了元素组合在空间分布上的规律性。

参考文献

1 张乾．云南金顶铅锌矿床成因研究．地质找矿论丛，1991；(2)，47～58

2 徐光炽等．中国层控矿床地球化学．北京：科学出版社，1984；(1)；365～378

3 徐光炽等．中国层控矿床地球化学．北京：科学出版社，1988；(3)，365～378

4 朱上庆等．中国层控铜铅锌矿床的时空和空间分布特征．地球科学，1984；(4)，1—10

5 张秋生等．中国早前寒武纪地质及成矿作用．吉林人民出版社，1984

6 张乾．泥岩—细碎屑岩型铅锌矿床的主要地质地球化学特征及时控因素．地球化学．1990；(3)；230～238

7 戴同关．海底热液沉积成矿——一种新近被认识的、普遍而重要的成矿作用．地质与勘探，1985；(6)，22～28

8 张乾．砂砾岩型铅锌矿床的地质特征、时空展布规律及形成机制．地质与勘探，1988；(8)，8～17

维普资讯 http://www.cqvip.com

The Element Associations of Pb—Zn Deposits in China and Their Temporal—Spatial Evolution Characteristics

Zhang Qian

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang, 550002)

Abstract Ore-forming elements of Pb—Zn deposits in China can be divided into 23 types of the element associations. The different genetic deposits, the different tectonic units and five large mineralizing periods in the geological history all have different types of element associations. From deposition to magmatic hydrotherm even to the poly-genetic composite and reformation, from early to late in the geological history, and from the relative stable sedimentary basins to the active tectonic—magmatic zone, the element associations vary from the simple 1—2 element associations to the complecated polyelement ones. The complexity of the element associations is due to the frequent and intense crustal movements resulting in the existence of many kinds of mineralizations and their composites each other.

Key words Pb—Zn deposit; Element association; The temporalspatial evolution characteristics