

文章编号: 1001-1412(1999)03-0025-09

大型、特大型金矿盲矿预测的 原生叠加晕理想模型

李惠, 张文华, 常凤池

(冶金部地球物理勘查院 物化探研究所, 河北 保定 071051)

摘要: 论述了金矿多期多阶段叠加成矿成晕的地质地球化学特征。在研究大型金矿床原生叠加晕模型的基础上, 建立了大型金矿床的原生叠加晕理想模型及盲矿预测准则。

关键词: 大型金矿; 原生叠加晕; 理想模型; 盲矿预测准则

中图分类号: P618.51; P632.2

文献标识码: A

根据金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的观点, 研究了大型、特大型金矿不同成矿阶段元素组合特征, 不同阶段形成矿体(晕)的轴向分带规律及其在空间上的叠加结构, 建立了13个典型大型、特大型金矿床的原生叠加晕模型及其盲矿预测标志, 在总结其共性的基础上, 建立了大型、特大型金矿床的原生叠加晕理想模型及其盲矿预测准则, 为在矿区深部及其外围预测盲矿, 使矿山增储提供了一种直接有效的方法和手段。

1 金矿多期多阶段叠加成矿成晕的基本特征

1.1 金矿床(体)原生叠加晕——原生叠加晕模型

(1) 金矿成矿的脉动性和多期多阶段叠加成矿的特点, 已被广大金矿专家所公认。金矿床(体)原生叠加晕是金矿多阶段脉动叠加成矿成晕的结果, 金矿叠加成矿成晕包括了时间上多阶段成矿的脉动性、继承性和在空间上的叠加性, 即金矿床(体)及其原生叠加晕是具有相同物质来源、含矿热液成分和形成条件都有继承性变化的多阶段脉动演化所形成的矿体(晕), 在空间叠加或衔接。由于叠加形式或结构的多样性, 所以叠加晕是一种非常复杂的原生晕。多建造晕系指成分与形成条件不同的成矿建造, 在空间上重叠或衔接, 在结构上非常复杂的原生异常

收稿日期: 1999-01-04; 修订日期: 1999-07-19

科技项目: 国家攀登计划项目 B-85-34-5B 课题研究的主要成果之一。

第一作者简介: 李惠(1937-), 男, 教授, 现从事金属矿山深部及其外围盲矿体定位预测, 金属、非金属、油气、地热、环境地质的勘查与评价。

(牟绪赞, 1996)。由此可知, 金矿原生叠加晕与多建造晕有共性也有较大差别。

(2) 构造叠加晕法, 是根据金矿叠加成矿(晕)严格受构造控制的特点, 通过在构造蚀变带中取样、分析、发现(或抓住)叠加晕主体特征的一种快速、经济、有效的方法。

(3) 金矿床(体)原生叠加晕模型, 实际是一种找矿模式, 是指特定类型的典型矿床(体)或一组相似类型矿床的地质-地球化学特征、原生叠加晕特征、找矿标志及找矿方法的基本概括与表达。

(4) 热液金矿床原生叠加晕理想(概念)模型实际是对热液成因的典型金矿床原生叠加晕模型的高度抽象、概括与表达。

1.2 金矿成矿多阶段叠加的地质特征

(1) 金矿成矿严格受构造控制, 构造活动的长期性、间歇性或脉动性及继承性, 导致了成矿作用脉动式多阶段性和叠加性, 研究热液期成矿的脉动多阶段性和各阶段形成矿体的特征及其在空间上的叠加结构不仅是研究金矿原生叠加晕的基础, 而且在金矿预测中具有重要实用价值。

(2) 根据多数研究者和作者的研究认为, 胶东金矿成矿过程划分为四个阶段较符合实际, 即 I. 黄铁矿-石英阶段; II. 金-石英-黄铁矿阶段; III. 金-石英-多金属硫化物阶段; IV. 石英-碳酸盐阶段。其中 II, III 阶段为主成矿阶段, I, IV 阶段一般形不成工业矿体。

(3) 不同脉动阶段在构造空间上的叠加结构具有多种形式, 或具有多样化的叠加结构, 即由各阶段形成特有的矿物组合、蚀变组合、矿石结构、构造、不同矿化类型及其强度、范围等在空间上的叠加。不同阶段形成矿体在空间的叠加可分为同位叠加、部分同位叠加和异位叠加。在部分同位叠加中又可分为顺序上叠式、下叠式及不规则式。下叠式即从 I—IV 形成矿体从上下依次部分叠加。

(4) 同一阶段矿化具有明显的沉淀分带性, 以第 III 阶段多金属硫化物形成的矿脉为例, 从矿脉边部—中心, 依次出现石英-黄铁矿-方铅矿-黄铜矿-磁黄铁矿或石英-黄铁矿-磁铁矿组合的水平对称分带, 在垂向上从上下, 黄铁矿减少, 磁黄铁矿增多, 方铅矿减少, 而闪锌矿增多。与水平分带有相似的变化规律(张均, 1994)。

1.3 金矿多期多阶段叠加成矿成晕的基础地球化学特征

1.3.1 金矿床不同成矿阶段元素沉淀理想模式 通过对胶东某些典型金矿成矿作用的四个阶段(I. 黄铁矿-石英阶段, II. 石英-黄铁矿阶段, III. 金-多金属硫化物阶段, IV. 碳酸盐阶段)的地球化学取样和多元素分析, 结合不同成矿阶段形成的矿物组合、各矿物占的比例、单矿物中微量元素含量以及不同成矿阶段 Au 及其伴生元素含量比例关系的综合研究, 总结了不同成矿阶段成矿元素(Au)、伴生元素(Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg, Mo, Mn 等)、控矿元素(K, Na, Si, Fe)及矿化剂元素(S, F, Cl)的沉淀理想模式。结果表明, 第 I 阶段(黄铁矿-石英阶段)和第 IV 阶段(碳酸盐阶段)带来或沉淀的元素很少。Au 及 Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Hg, Mo 等主要是由第 II, III 阶段带来, 其中 Au, Bi, Co, Ni 在两个主成矿阶段相近, 而 Cu, Pb, Zn 等在金-多金属硫化物阶段(III 阶段)相对较多。由此可以认为金矿床(体)的原生叠加晕的特点及其分带结构主要决定于第 II, III 两个主成矿阶段。

1.3.2 金矿成矿成晕的基本特点 含金成矿溶液在沿断裂构造带上升、充填、渗流、扩散过程

中,随着物化环境和成矿溶液性质、成分的不断变化,由于各元素的迁移形式和沉淀条件的不同,导致了金及其伴生元素在时间上沉淀有先后和在空间上分布的分带性,这种分带在宏观上表现为矿物组合、蚀变特征等方面。在微观上表现在微量元素的组合、相关关系及包体和同位素地球化学上。研究和发现金矿床的地球化学垂直分带规律是解决找盲矿的技术关键。由于金矿及其原生晕是多期多阶段叠加的结果,因此应先研究金矿单阶段成矿成晕的基本特点,在此基础上再研究叠加晕的特点。已有研究成果(李惠,1991,1993)表明,金矿成矿成晕有下面一些特点:

(1)单阶段形成的单个矿体有明显的地球化学分带结构,即有自己的前缘晕和尾晕及正常的原生晕垂直分带序列。

金矿床原生地球化学垂直(轴向)正向分带序列的统计共性是: Hg, F, As, Sb, B 等元素总是在轴向分带序列的上部,而 Bi, Mo, Mn, Co, Ni 等总是出现在下部。

金矿床地球化学异常综合模式特点是:

前缘晕元素组合: Hg, As, Sb (F, I, B, Ba) 中外带异常, Au, Cu (Ag, Pb, Zn) 外带异常。

矿体中部晕元素组合: Au, Ag, Cu, Zn (Bi, Mo) 中内带异常, As, Sb (F, Ba, Hg, B, D) 外带异常。

尾晕元素组合: Mo, Bi, Mn, Co (Sn) 中外带异常, Au, Ag, Zn, Cu 外带异常。

上述模式中前、尾晕元素并不是在每个矿床都出现。

(2)同一阶段在同一构造体系中形成的串珠状金矿体,能在总体上形成前缘晕和尾晕,同时串珠状矿体中每个矿体又有自己的前缘晕和尾晕,如串珠状矿有上、下两个矿体,上部矿体有自己的尾晕,下部矿体有自己的前缘晕,但其规模小于总体前、尾晕,上、下两个矿体相近时二者往往叠加在一起。

(3)不同成矿阶段形成的矿体,各有相似的地球化学分带结构,即有自己的前缘晕和尾晕。

(4)先形成的金矿体及其原生晕,当有后期成矿热液叠加时,成矿元素和伴生元素等往往会发生活化转移,对原来矿体(晕)的分带结构有一定影响,但实际资料表明,这种变化不会破坏原来的分带特点。叠加后的分带是两个阶段的叠加结果。

(5)不同阶段形成的矿体(晕)在构造空间上有多种叠加形式,形成了金矿原生叠加晕的复杂叠加结构,在论述典型金矿床的原生叠加晕模型的基础上,总结出了热液金矿床的原生叠加晕理想模型,确定了盲矿预测准则和标志。

2 大型、特大型金矿的原生叠加晕理想模型及其用于盲矿的预测准则

研究和建立了包括胶东的新城、焦家、玲珑、东风(阜山)、大尹格庄、金青顶、望儿山、灵山沟、庄官、邓格庄、三甲及河南小秦岭、河北东坪等 13 个典型大型、特大型金矿床的原生叠加晕模型。这些矿床主要分布在华北地台东缘(山东)、北缘(东坪)和南缘(河南),选择了有代表性的典型矿床。矿床类型既有石英脉型,又有蚀变岩型。在成因上主要是绿岩带型金矿,其中包括了与花岗质杂岩系有关的胶东金矿、与太古代绿岩有关的河南小秦岭金矿和与碱性杂岩有关的河北东坪金矿。典型金矿叠加晕模型的建立为各矿区深部及外围盲矿预测提供了一种有

效方法和手段,具有重要实用价值。

在总结典型大型、特大型金矿原生叠加晕共性和特性的基础上,建立了大型热液金矿床的原生叠加晕理想模型及用于盲矿预测的五条通用准则。

2.1 大型、特大型热液型金矿床(体)原生叠加晕理想模型

金矿床(体)多期多阶段叠加成矿成晕在构造空间上的叠加形式或叠加结构比较复杂,有多种叠加形式,通过对典型金矿床叠加成矿成晕模型的综合对比总结其共性可概括出四种形式的叠加晕理想模型,其总体特征是:

(1) 理想模型图以剖面表示,显示了金矿体在构造中赋存的有利部位,图中重点表示的是轴(垂)向叠加晕及地化参数的变化规律,突出了盲矿预测和不同截面判别金矿剥蚀程度的叠加晕标志,包括叠加晕、轴向分带序列、轴向地化参数及包裹体气晕、离子晕标志,理想模型 2~4 中预测标志更明显些。

(2) 金矿成矿一般分为四个成矿阶段,由于 I, IV 阶段带来 Au 及其伴生元素很少,不能形成工业矿体,所以模型中突出了 II, III 两个主成矿阶段在成矿成晕过程中,在构造空间内的同位、部分同位叠加或衔接结构的特点。

(3) 叠加晕的叠加结构有多种,所总结出的四种只是代表。

(4) II, III 两个主成矿阶段的重要区别是第 III 阶段(多金属硫化物阶段)富含 Pb, Zn, Cu, 第 III 阶段叠加部位一般都具有 Pb, Zn, Cu 的强异常,而且 Au 较富。

(5) 地化参数 $a = \frac{\text{前缘特征元素(含量、累加、累乘等)}}{\text{尾晕指示元素(含量、累加、累乘等)}}$, 如 $Sb/Bi, As/Mo, (As + Sb)/(Bi + Mo), As \cdot Sb/Bi \cdot Mo$ 等。

(6) 原生晕轴向分带序列的正常与不正常是与中国金矿床综合分带序列相比而言的。

中国金矿床原生晕综合轴向分带序列从上 下是

$B-A_s-Hg-F-Sb-Ba$ $Pb-Ag-Au-Zn-Cu$ $W-BiMo-Mn-Ni-Cd-Co-V-Ti$
矿体前缘晕及上部 矿体中部 矿体下部及尾晕

(7) 中小型金矿床也具有大型、特大型金矿床的叠加成矿成晕特点和叠加结构,但大型、特大型金矿成矿有丰富的物质,即巨大的物质供应量,控矿构造和容矿构造规模大,叠加强度高、范围广,叠加形成的叠加晕更复杂。所建立的大型、特大型热液型金矿(体)原生叠加理想模型也适用于中小型金矿床的盲矿预测。

2.1.1 模型 1: 单一主成矿阶段形成矿体(晕) (A) 或两个主成矿阶段同位叠加晕(B) 理想模型(图 1) 在构造蚀变带中只圈出一个矿体,如果金矿成矿成晕分为三个阶段,可理解为第 II 主成矿阶段形成矿体(晕) 叠加于第 I 阶段形成的弱矿化晕之上(A); 如果分为四个成矿阶段,可理解为第 II, III 两个主成矿阶段之一的成矿成晕叠加于第 I 阶段弱矿化晕之上(A),也可理解为两个主成矿阶段(II, III) 在第 I 阶段矿化晕的基础上同位叠加形成的矿体晕(B)。

由于第一阶段形成矿化晕很弱,所以叠加晕的特点决定于 II, III 阶段叠加结果,上述几种叠加形成的叠加晕虽然晚阶段形成矿体(晕) 对先形成矿体晕有一定影响,但总体看,原生异常分带、包体异常分带、轴向分带序列和轴向地球化学参数的变化都是有规律的,均为正常垂直分带,可总结出找盲矿和判别金矿剥蚀程度的地化定量预测指标和建立各种数学模型。

2.1.2 模型 2: 串珠状金矿原生叠加晕理想模型(图 2) 串珠状或尖灭再现矿体,可能是同一

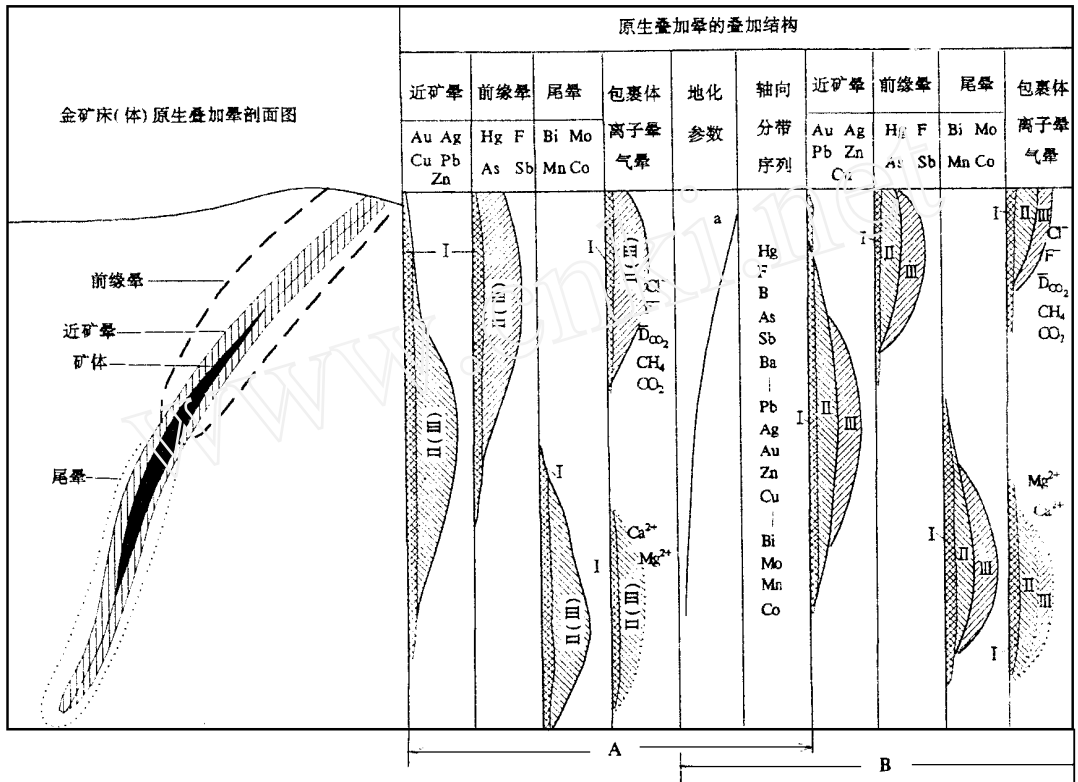


图 1 模型 1, 单一主成矿阶段形成矿体(晕)A 或两个主成矿阶段同位叠加晕(B) 理想模型

Fig. 1 Model 1, ideal model for ore-body halo (A) of a single ore-forming stage or halo overprint at the same position of two main ore-forming stages (halo B)

地化参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素(含量、累加、累乘)/尾晕元素(含量、累加、累乘)

主成矿阶段形成(叠加在 I 阶段弱矿化晕之上(A), 也可能是两个主成矿阶段形成, 其中(B)是 II 阶段在上, 而 III 阶段在下, 且 III 阶段头晕与 II 阶段尾晕衔接, (C)是第 II 阶段在下, III 阶段超越 II 在上。其特点是上部矿体的前缘晕和下部矿体的尾晕基本上没有叠加, 关键是上部矿的尾晕与下部矿体的前缘晕叠加在一起, 若工程只控制到上部矿体的根部, 则上部矿体的原生晕出现反常, 即矿体下部或尾部出现了 Hg, Sb, I, B, A s 等前缘晕元素的强异常, 计算垂直分带序列也出现反分带或不正常, 即 Hg, Sb, A s, F 等出现在分带序列的中或下部, 计算分带性指数或累乘比值在上部几个标高连续上升或下降, 而到矿体下部则出现转折, 突然下降或上升, 这种现象是深部还有盲矿或第二个富集中段的标志。

与第 III 阶段形成矿体为上 或为 相对应, Cu, Pb, Zn 强异常也分别出现在上部(图中 C)或下部(图中 B)。

串珠状矿体深部盲矿的预测标志是在已知矿体尾部 Au, Ag 异常较低时, 出现前、尾晕共存, 地化参数轴向发生转折及轴向分带序列出现反常。

2.1.3 模型 3: 两个主成矿阶段形成矿体(晕)部分叠加理想模型(深部盲矿预测标志)(图 3)

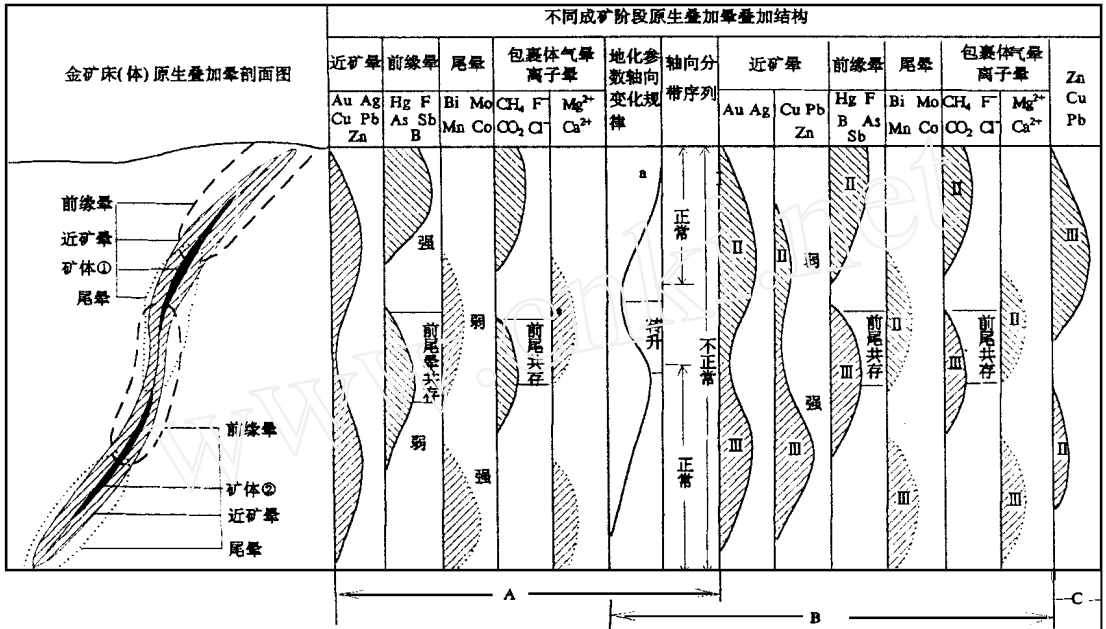


图 2 模型 2, 串珠状金矿体原生叠加晕理想模型

Fig 2 Model 2, ideal model of overprinted halos for paternoster-like ore bodies

A. 单一主成矿阶段形成矿体(晕)或两个主成矿阶段同位叠加 B. II 主成矿阶段形成矿体(晕) 在上, III 阶段形成矿体(晕) 在下 C. II 阶段在下, III 阶段超越 II 在上

地化参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素(含量、累加、累乘)/尾晕元素(含量、累加、累乘)

(1) 不考虑深部有盲矿化情况下, 两个主成矿阶段形成的两个矿体(晕)部分叠加的结果加大了矿体在轴向(或垂向)的延深, 所圈出的矿体延深较大。由于上、下两个矿体的两个前缘晕和两个尾晕分别叠加合成, 也加大了矿体前缘晕和尾晕的长度和强度, 同时也导致了前缘晕和尾晕重叠或共存部分的加大。这种叠加晕的带基本上属于正常分带, 垂直分带序列也是正向分带。其找矿标志是: 当 Au 含量较低时, 若前缘晕特征元素 Hg, Sb, F, I, B, As 异常强度大, 则指示深部有盲矿, 且富而大, 若尾晕元素如 Bi, Mo, Mn, Co, Ni 等元素异常强度大, 则指示深部无矿; 若已是 Au 矿体, 其原生晕中前缘晕元素和尾晕元素都较发育, 两者共存则指示矿体是两阶段叠加的结果, 指示矿体延深较大, 若前缘晕元素强度比尾晕元素强度高, 则指示为叠加(矿体)的头部指示矿体延深很大, 若前缘晕元素强度比尾晕元素低, 则指示矿体还有一定延深。

A 为 III 阶段形成矿体 叠加于 II 阶段形成矿体 之下部, 此时 Cu, Pb, Zn 异常下部强于上部, B 则反映 III 阶段成矿热液超越第 II 阶段形成矿体 在其上部成矿成晕, 此种情况 Cu, Pb, Zn 异常上部比下部强, 而且先形成的下部矿体 的晕均可能有些元素活化向上有一定位移, 但总体不会破坏其分带结构。

(2) 若深部还有串珠盲矿, 则在矿体尾部出现前、尾晕共存、分带序列计算结果不正常, 地化参数发生转折。

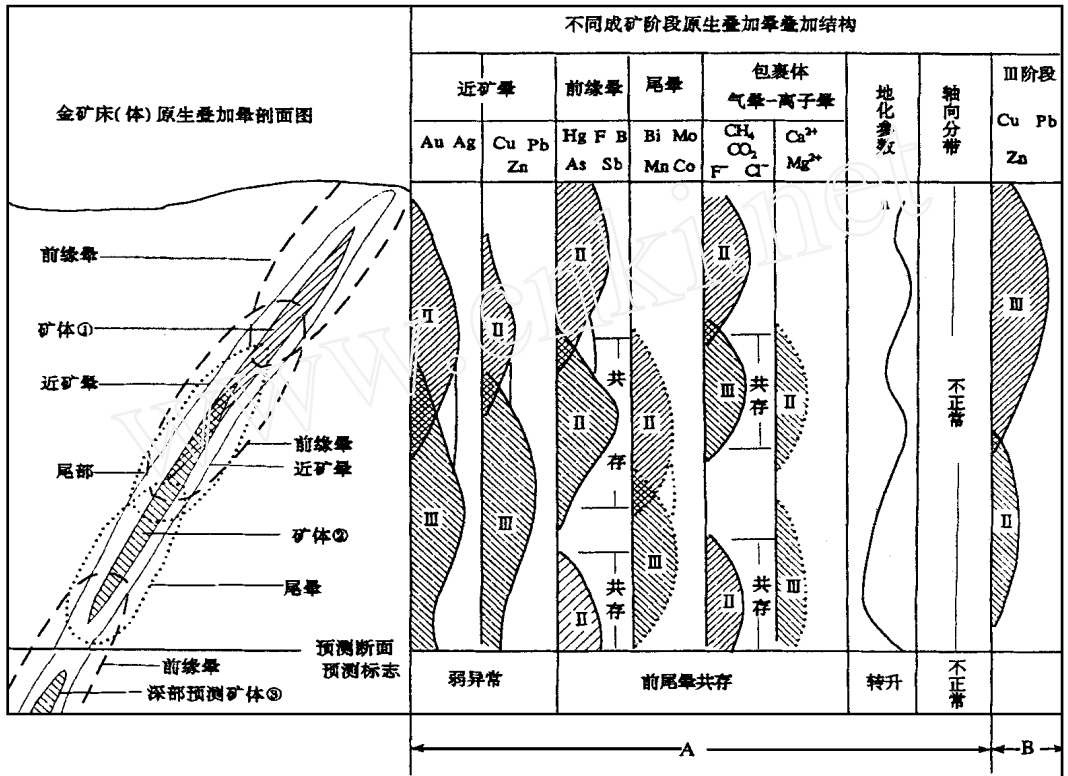


图 3 模型 3, 两个主成矿阶段形成的矿体(晕)部分叠加理想模型(深部盲矿预测标志)

Fig 3 Model 3, ideal model for partial overprint of deep ore bodies formed by two main ore-forming stages

A. III阶段形成矿体 叠加在II阶段形成矿体 尾部 B. III阶段形成矿体 超越 叠加于II阶段形成矿体的头部和前缘, 只有Cu、Pb、Zn 异常, II弱、III强分带不同, 其余相似。

地化参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素(含量、累加、累乘)/尾晕元素(含量、累加、累乘)

2.1.4 模型 4: 金矿床(体)复杂叠加晕理想模型(矿体向下延伸大小的预测标志)(图 4) 该模型可理解为第 II 主成矿阶段形成了两个尖灭再现矿体, 第 III 主成矿阶段形成的矿体

叠加在中间, 也可能是三个阶段形成的三个矿体的叠加, 这种情况金矿体延深相当大, 也是金矿延深大于延长的一个重要因素, 其叠加晕的特点是多个矿体的前缘晕和尾晕分别叠加合成后, 大大加长了前缘晕和尾晕的延深(或长度), 同时也大大加大了前缘晕和尾晕的重叠共存部分, 这种矿体的整体原生晕分带和分带序列基本是正常的, 但当取矿体上部某一部分计算分带序列则会出现反常。叠加晕不同截面特点是: 当 Au 含量很低, 前缘晕元素强度大, 则指示深部有盲矿(地表截面)。当金矿体的原生晕中前缘晕元素和尾晕元素共存时, 指示有多期成矿叠加。若前缘晕元素强于尾晕元素时, 指示矿体向深部延深相当大, 若前缘与尾晕元素的强度相当则指示矿体还有很大延深, 如截面 AA'、BB'。若尾晕元素强于前缘晕时, 指示矿体还有一定延深, 若无前缘晕只有尾晕则指示矿体已到根部。

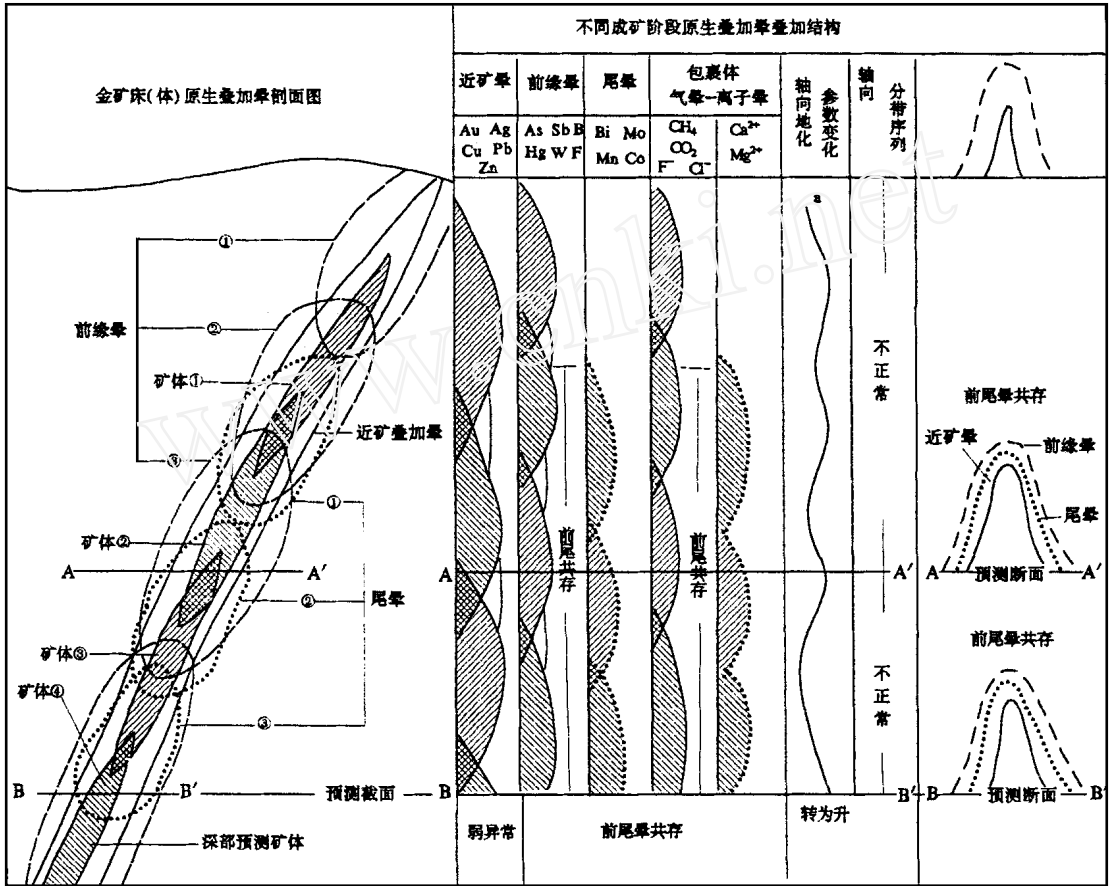


图 4 模型 4, 金矿床(体)复杂叠加成矿晕理想模型(矿体向下延伸大小的预测标志)

Fig 4 Model 4, ideal model for complexed overprinted halo of Au ore body (deposit) to indicate degree of down extension of ore body
地化参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素(含量、累加、累乘)/尾晕元素(含量、累加、累乘)

2.2 金矿叠加晕应用于找矿的五条准则

根据金矿不同情况叠加晕分解合成的特点, 总结出了应用叠加晕找盲矿和判别金矿剥蚀程度的五条准则:

(1) 当 Au 异常强度较低时, 如果有 Hg, As, Sb, B, I, F, Ba 等特征前缘晕指示元素的强异常出现, 或包体中 CH₄, CO₂, F⁻, Cl⁻ 等特征前缘气晕、离子晕强异常出现, 指示深部有盲矿存在。

(2) 当 Au 含量很低 (< 0.1 × 10⁻⁶), 若有 Mo, Bi, Mn, Co, Ni, Sn 等特征尾晕元素的强异常, 或包体中 Ca²⁺, Mg²⁺ 等尾晕特征离子晕强异常出现, 则指示深部无矿。

(3) 反分带准则。当计算金矿床原生晕的垂直分带序列时出现“反分带”或反常, 即 Hg, As, Sb, B, I, F, Ba 等典型前缘晕元素出现在分带序列的下部, 或包体地球化学轴向分带序列

中 F^- , Cl^- , CO_2 , CH_4 出现在下部, 则指示深部还有盲矿或第二个富集中段。若矿体本身还未尖灭, 则指示矿体向下延伸还很大。

(4) 共存准则: 即矿体及其原生晕中既有较强的 Hg, As, Sb, F, B 等前缘晕元素的强异常, 又有 Bi, Mo, Mn, Co, Ni 等尾晕元素的强异常, 或包体中 F^- , Cl^- , CH_4 , CO_2 等前缘特征气晕、离子晕与 Ca^{2+}, Mg^{2+} 等尾晕特征离子晕共存, 即前尾晕共存, 若为矿体则指示矿体向下延伸还很大, 若为矿化则指示深部有盲矿体。

(5) 反转准则。计算矿体或晕的地球化学参数(比值或累乘比)时, 若有几个标高连续上升或下降, 突然反转, 即由降转为升, 或由升转为降, 这种现象指示矿体向下延深很大或深部有盲矿体。

上述五条准则可单独使用, 也可几条都用, 原生叠加晕和包体气晕、离子晕可单独使用, 也可同时都用, 几条标志或准则共用更准确。

3 结束语

所建大型热液金矿床原生叠加晕理想模型和用于盲矿预测的五条准则, 为在矿区深部及其外围盲矿定位预测提供了一种新的思路、方法和技術, 具有普遍的重要指导作用, 对某矿区预测时, 以此为指导, 建立其特有的盲矿预测的叠加晕模型, 定会取得更好效果。

参考文献:

- [1] 李惠 石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [2] 李惠 热液金矿床原生叠加晕的理想模式[J]. 地质与勘探, 1993, 29(4).
- [3] 牟绪赞 地球物理、地球化学勘查标准汇编(化探、遥感部分)[C]. 北京: 地矿部地质调查局, 1996.
- [4] 张均 现代成矿分析的思路、途径、方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.

IDEAL MODELS OF OVERPRINT OF PRIMARY HALO FOR LARGE, MEGA-SIZE BLIND Au ORE DEPOSITS

LI Hui, ZHANG Wen-hua, CHANG Feng-chi

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Baoding 071051, China)

Abstract: The paper deals with geochemical characteristics of ore-forming and halo-forming processes of Au deposits with several metallogenic stages. Ideal model of primary halo overprinting and criteria for prediction of large size blind Au deposits are established on studies of modeling the primary halo overprinting of large size Au deposits.

Key words: large-size Au deposit; primary halo overprinting; ideal model; criteria for prediction of blind Au deposit