

不整合面中的成矿机制与找矿研究

李朝阳, 刘玉平, 管太阳, 皮道会, 叶霖

(中国科学院地球化学研究所 中国科学院矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要:不整合包括角度不整合和平行不整合两种。不整合面附近成矿是一种比较常见的现象,但通常只简单地认为不整合面只是成矿的有利通道和储矿场所,而对发生在不整合面中的后期构造活动主动促进成矿(成矿流体流动)的作用认识不足。文中在列举了国内外一批产于不整合面中的矿床的基础上,总结了这类矿床的主要特点是:矿床均产于不整合面及其靠近的盖层和基底地层中,常呈矿产密集区分布,规模一般较大,品位较富,矿床的成矿过程一般是经过沉积和热液叠加两个阶段,成矿作用和围岩蚀变都是以低温为主,矿床的成矿元素与同区域的其他类型矿床相似;两种不整合面中的矿床的矿体形态与产出位置不大一样。最后讨论了中国为什么不能形成不整合脉型铀矿床和为什么在不整合面中主要只形成低温热液矿床。

关键词:不整合面; 矿床特征; 成矿机制

中图分类号:P612 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2004)02-0353-08

1 基本情况

不整合分为两种:一种是由于造山运动造成的角度不整合;另一种是地壳升降运动形成的平行不整合,又称为假整合或沉积间断面或古侵蚀面。

不整合面附近的成矿现象在国内外都是一种比较常见的现象,其中不乏有大量的油气矿产,同时很多金属矿产也受不整合面的控制。矿床(体)赋存于不整合面中,或靠近不整合面附近的上下盘(盖层与基底)地层中。

1.1 不整合面附近的油气田

据已有的资料,美国东得克萨斯盆地与锡尔特盆地油气田、加拿大阿萨巴斯卡油气田、我国辽河油田齐家河油气藏和塔里木盆地油气田等,它们都是受不同时代的不整合面控制。在塔里木盆地中,不整合面很多,至少有5个不整合面控制的油气田^[1],即:志留系与奥陶系或前震旦系的不整合面(T_1^0);

石炭系与下古生界或前震旦系的不整合面(T_6^0);二叠系上统—三叠系与二叠系下统或志留—泥盆系或前震旦系之间的不整合面(T_5^0);侏罗系与三叠系或石炭—二叠系或寒武—奥陶系或震旦系的不整合面(T_4^0);白垩系与下伏地层的不整合面(T_4^0)等。

1.2 国外不整合面附近的金属矿产

国外不整合面附近的金属矿产例子很多,如澳大利亚北部贾比卢卡、金都尔、库恩加拉、纳巴勒克、兰杰、拉姆、詹格尔与西澳的图利·克里克和加拿大塞格湖、克拉夫湖、科林斯湾、唐湖、伊格尔·波因特、凯湖、基加维克、莫里斯湾、麦克阿瑟河、麦克克林湖、中西湖、拉比特湖、西贝尔等不整合面型铀矿^[2,3]、加拿大 Hemlo 金矿^[4]和安大略湖区的 Red Lake 金矿(这两个金矿一般都把它们归属为韧性剪切带型,因为不整合面附近韧性剪切带发育)与 Arctic Islands MVT 铅锌矿,以及西澳大利亚的 Penny West 金矿等。

1.3 国内不整合面附近的金属矿产

根据不完全统计,我国辽宁连山关铀矿^[5]、浙江治岭头金—银多金属矿^[6]、云南路西上芒岗大型金矿^[7]、云南东川滥泥坪铜矿、老寨湾金矿^[8]、富宁革档金矿^[9]、富源景胜关与东铺金矿^[9]、丘北茶花寨金矿^[9]与砚山垮溪金矿^[8]、广西隆林马雄锑金矿^[8]、

收稿日期:2003-11-03;修订日期:2004-01-12

基金项目:国家重大基础研究规划项目(973项目)(2001CB409808)

作者简介:李朝阳(1938—),男,研究员,矿床地球化学。电话:0851-5891963; E-mail: lcyoldg@sohu.com

云南省地质矿产局. 云南省区域矿产总结(上册). 1993. 360-362.

隆或金矿^[10]、大坪金矿、坝后金矿^[10]与那坡果提金矿^[10]及崇左六坤金矿、板利金矿^[10]、田林高龙金矿^[10]、乐业弯里金矿^[10]和上思七门金矿^[11]、黔东北梵净山一批以金盏坪金矿床为代表的 8 个金矿床(点)^[12]、贵州安龙戈塘金矿^[13]、贞丰水银洞金矿和普安泥堡金矿^[14]、广东长坑金银矿^[15]、湖南常宁康家湾铅锌金矿^[16]、云南楚雄盆地砂岩型铜矿^[17]和新疆伊犁盆地的扎基斯坦、库基尔泰、乌库尔其与吐鲁番盆地的十红滩砂岩型铀矿^[18,19]等都是与不整合面有关或产于不整合面附近的矿床。

2 受不整合面控制的矿产的主要特点

2.1 易形成矿产密集区

由于不整合面是区域性的构造运动产物,因此产于其中的矿床往往也是在区域上成群、成带地出现,形成一个矿产集中区。如加拿大西北萨斯额彻温省的阿萨巴斯卡盆地(Athabasca Basin),沿其周边的不整合面分布了 28 个不整合脉型铀矿床(图 1);澳大利亚澳北区达尔文东南的东阿利盖特河地区,

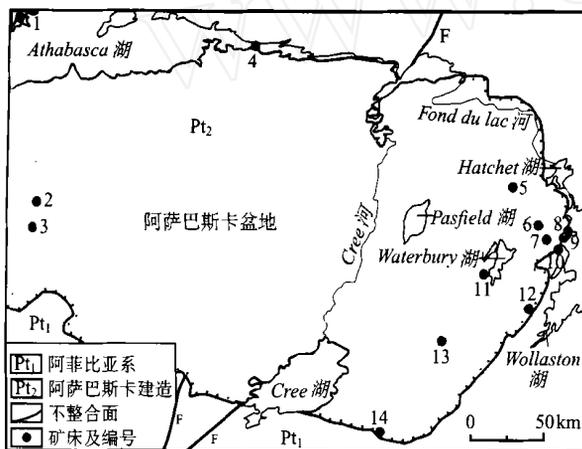


图 1 加拿大阿萨巴斯卡盆地不整合面型铀矿分布略图
(据加拿大萨斯额彻温省矿产图修改^[20])

Fig.1 A sketch of uranium deposits distributed in unconformable contact of the Athabasca Basin, Canada (Revised on the basis of Mineral Resource Map of Saskatchewan^[20])

Pt₁—下元古界,沉积变质岩;Pt₂—中元古界阿萨巴斯卡建造,砂岩。1—莫里斯湾;2—克拉夫湖;3—Shea Creek;4—Fond du Lac;5—La Rocque 湖;6—中西湖;7—麦克克林湖;8—伊格尔·波因特;9—科林斯湾;10—拉比特湖;11—西加湖(塞格湖);12—西贝尔;13—麦克阿瑟河;14—凯湖

就集中分布了 6 个不整合脉型铀矿床;我国滇黔桂接壤地区产有革档、老寨湾、垮岩、马雄、戈塘、水银洞、泥堡、高龙、板利、弯里、七门、隆或等 10 多个金或金(锑)矿床;黔东北梵净山穹隆状背斜周边分布

有金盏坪等 8 个金矿床(点)。受不整合面控制的矿床亦有单独产出的,但数量相对较少。

2.2 与不整合面有关的很多矿床一般规模大、品位富

加拿大阿萨巴斯卡盆地的 28 个铀矿床中,属于超大型规模的矿床很多,如伊格尔·波因特铀金属储量为 20 000~50 000 t、西加湖 110 000 t、麦克阿瑟河 77 000 t、凯湖 73 900 t、拉比特湖 15 769 t 和中西湖 21 550 t 等。澳大利亚北部东阿利盖特河地区的 6 个不整合脉型铀矿床中贾比卢卡(Jibiluka)、兰杰(Ranger)和库恩加拉(Koongarra)3 个铀矿床的铀的金属储量分别为 >50 000 t、5 000~20 000 t 和 >50 000 t 以上^[2,3](在我国,铀储量等于或大于 10 000 t 就算为超大型铀矿床)。我国云南上芒岗与贵州戈塘、水银洞、泥堡、广西高龙、云南老寨湾金矿和辽宁连山关铀矿等都是大型金矿床,广东长坑金银矿区中存在有一个大型金矿床和一个超大型银矿床。矿床的矿石品位一般都较富,澳大利亚贾比卢卡和库恩加拉两个不整合脉型铀矿 U 品位为 0.3%~1.0% 之间,纳巴勒克矿床 U 的品位在 1% 以上(远大于我国 U 的工业品位 0.05%)。加拿大阿萨巴斯卡盆地的 28 个铀矿床的 U₃O₈ 品位都大于 0.16%,多数都为 n%,其中西加湖(Cigar Lake)和麦克阿瑟河(McArthur River)矿床的 U₃O₈ 的平均品位分别竟达 17.75% 和 16.80%。我国云南滥泥坪铜矿铜的平均含量在 2% 以上,而该区的东川式铜矿的铜平均品位一般都小于 1%,多在 0.7% 左右。贵州水银洞和泥堡两个金矿金的平均品位都大于 10 g/t,个别样品的金品位甚至在 100 g/t 以上。矿床规模大、品位富的原因可能是成矿流体源于大面积和长时间、多次叠加成矿的结果。

2.3 矿床(化)都赋存在不同时代的不整合面或其上下盖层或基底地层中

澳大利亚和加拿大的不整合脉型铀矿都产于中、上元古界与下元古界的不整合面中及其附近的盖层或基底地层中^[2,3](见图 2);我国一些产于不整合面及其附近矿床,有的产于角度不整合面中,有的受平行不整合面或古侵蚀面控制,其产出情况详见表 1。一般来说,与角度不整合面有关的矿床,矿体除产于不整合面中外,盖层与基底中亦有矿体产出;而与产于平行不整合面中的矿床,矿体基本上只沿不整合面分布(见图 3),不整合面上覆盖层和下伏基底中矿体相对较少,其展布方向大体与不整合面平行。

2.4 受不整合面控制的矿种主要是金矿和铀矿, 其次是铜(银)、铅、锌、锑、铂族元素等

对于金属矿产来说,不是所有的金属元素都能在不整合面附近成矿,因为不整合面中的成矿作用主要是在浅层低温条件下完成的。澳北不整合脉型铀矿主要是U,伴生有Pt、Pd,澳大利亚的西部的不整合面中主要是金矿;加拿大阿萨斯卡盆地的不整合面中亦主要是铀矿,伴生Ni、As和V,其东部和南部的不整合面中还产有金矿与铅锌矿;我国浙、粤、湘、桂、黔和滇与辽宁等省的不整合面及其附近的上下地层中,主要产出的是金、锑、铅锌(银)和铜矿等,未见有显示高温成矿的钨、锡、钼、铋矿床。这类矿床附近多数没有岩浆岩侵入体,脉岩也很少见,只有一些石英脉和碳酸盐脉。主要是(中)低温热液参与了成矿。

2.5 与不整合面有关的矿床的围岩蚀变基本相似, 以低温蚀变为主

与不整合面有关的矿床的围岩蚀变都比较相

似,主要是低温(多在200℃以下)热液蚀变,常见的有硅化、绿泥石化、高岭石化、伊利石化、黄铁矿化、碳酸盐化和有机质化(碳化),有的还有萤石化、绿帘石化、赤铁矿化等。这显示与不整合面有关的矿床在成矿过程中,热液活动比较明显,而且主要是低温热液。此种低温蚀变现象,正好与受不整合面控制的矿床也是(中)低温矿床这一特点相吻合。

2.6 产于不整合面中矿床的矿种和该区其它类型矿床的矿种非常相似

滇黔桂接壤地区是与不整合面有关的戈塘金矿、高龙金矿、七门金矿、弯里金矿、老寨湾金矿、水银洞金矿、革档金锑矿和马雄锑金矿的产区,该区也正好是卡林型金矿和低温热液锑矿的分布区;云南东川矿区西南部震旦系与昆阳群的不整合面中的滥泥坪式铜矿,就分布在有东川式铜矿(昆阳群落雪组白云岩中层状矿体为主的沉积改造型)、桃园式铜矿(昆阳群鹅头厂组碳质细碎屑岩中的层状与脉状矿体共存的沉积改造型)和稀矿山式铜矿(昆阳群因

表1 中国部分产于不整合面中矿床的产出位置

Table 1 Occurrence locations of some ore deposits in unconformable surface in China

矿床名称	产出位置	不整合面			资料来源
		类型	盖层	基底	
辽宁连山关铀矿	不整合面中	A	下元古界辽河群浪子山组	太古宇鞍山群	[5]
浙江遂昌冶岭头金-多金属矿床	不整合面中	A	侏罗系上统火山岩	下元古界八都群变质岩	[6]
滇西上芒岗金矿床	不整合面及基底	C	侏罗系勐嘎组	下二叠统沙子坡组	[7]
云南东川滥泥坪铜矿	不整合面、基底和盖层	A	震旦系陡山沱组	昆阳群因民一落雪组	
滇东南老寨湾金矿	不整合面中	C	泥盆系下统坡脚组	下奥陶统统松冲组	[8]
云南富宁革档金矿	不整合面与盖层	A	泥盆系下统坡脚组	上寒武统唐家坝组	[9]
广西马雄锑金矿	不整合面与盖层	A	泥盆系中统东岗岭组	寒武系中统口群	[8]
广西田林高龙金矿	不整合面盖层底部	C	三叠系中统百蓬组	二叠系上统长兴组	[10]
广西乐业弯里金矿	不整合面盖层底部	C	三叠系中统百蓬组	二叠系上统长兴组	[10]
贵州安龙戈塘金矿	不整合面中	C	二叠系上统龙潭组	二叠系中统茅口组	[13]
贵州水银洞金矿	不整合面及其盖层	C	二叠系上统龙潭组	二叠系中统茅口组	李朝阳
贵州普安泥堡金矿	不整合面及其盖层	C	三叠系下统飞仙关组、二叠系上统凝灰岩	二叠系中统茅口组	[14]
广东长坑金银矿	不整合面及其基底	C	三叠系上统小坪组	下石炭统梓门桥组	[15]
湖南常宁康家湾铅锌金矿	不整合面基底	A	侏罗系	二叠系上统斗岭组、中统当冲组	[16]
滇中六苴、郝家河砂岩型铜矿	不整合面盖层底部	A	白垩系	昆阳群	[17]
黔东北金盏坪金矿	不整合面的盖层	A	上元古界下江群	中元古界梵净山群	[12、1]
新疆伊犁扎基斯坦砂岩型铀矿	不整合面下基底	B	白垩系上统齐古组	中、下侏罗统的水西沟群	[18,19]
新疆伊犁库基尔泰砂岩型铀矿	不整合面下基底	B	白垩系上统齐古组	中、下侏罗统的水西沟群	[18,19]
新疆伊犁乌库尔其砂岩型铀矿	不整合面下基底	B	白垩系上统齐古组	中、下侏罗统的水西沟群	[18,19]
新疆吐鲁番十红滩砂岩型铀矿	不整合面下基底	B	白垩系	中、下侏罗统西山窑组	[18,19]
云南砚山垮溪金矿	不整合面上部盖层	C	三叠系下统洗马塘组	二叠系中下统栖霞—茅口组	[10]
广西上思七门金矿	不整合面中	C	二叠系上统	二叠系中统合山组、茅口组	[11]

注:A—角度不整合;B—微角度不整合;C—平行不整合。 云南省地质矿产局. 云南省区域矿产总结(上册). 1993. 360-362.

民组上部火山沉积岩中层状矿体为主的基鲁纳型)的东川铜矿集中分布区。不整合面通常是区域性的,成矿流体可以长距离地运移,如 Bethke 等人研究认为,北美 Illinois 盆地中,西部储层中的石油是来源于 100 km 外的盆地的最南端^[21]。

2.7 不整合面类型不同,其中矿体产出的位置和形态亦有差别

(1)角度不整合面控制的矿床。其矿体形态和产出位置相对比较复杂,矿体除沿着不整合面分布外,矿化亦受上下顶底板中的断裂控制,故矿体常延伸到不整合面的盖层与基底地层中。如北澳贾比卢卡、兰杰与加拿大的不整合脉型铀矿,其铀矿体除产于不整合面中外,底板下元古界的希尔群与阿菲比亚群片岩和顶板砂岩中都产有铀矿体产出(图 2)。矿体的形状复杂,有似层状、透镜状、囊状、脉状和不规则状。我国云南东川地区的滥泥坪铜矿,铜矿体除沿着不整合面呈似层状产出外,在不整合面上部盖层的震旦系陡山沱组碳酸盐岩石和下部昆阳群基底地层中亦都有工业铜矿化。同样,云南革档金矿^[9]的不整合面中和上部盖层泥盆系下统坡脚组(其中有辉锑矿-石英脉)与基底寒武系上统的灰岩中都有金矿体产出。广西的马雄锑金矿^[8]中透镜状金矿体产于不整合面中的泥质粉砂岩中,而锑矿却呈辉锑矿-石英脉分布在不整合面上部盖层的泥盆系中统东岗岭组灰岩中。黔东北金盏坪金矿床^[12]的不整合面上部盖层下江群甲路组碎屑岩和不整合面下部梵净山群回香坪组层状辉绿岩中都有含金石英脉产出。

(2)平行不整合或假整合或沉积间断面或古侵蚀面控制的矿床。矿体主要是沿着不整合面展布,矿体形态相对比较简单,但它往往在不整合面下盘(基底)的古侵蚀面凹陷处矿体变厚,如戈塘金矿^[13](图 3)、云南砚山垮溪金矿^[8]、广西那坡金矿、隆或金矿、上思七门金矿^[11]和高龙金矿^[10]等都是如此。隆或金矿的“凹兜”矿体厚度达 40 余 m,而凸起处矿体厚度只有 1~2 m;广西高龙金矿亦与之类似,矿体最厚处达 73.52 m,最薄处仅 0.31 m^[10],矿体厚薄连串,形成顶板较平滑而底板凹凸不平的矿体。其次,在不整合面的上部盖层和下部基底地层中亦有矿化,如贵州水银洞金矿、泥堡金矿(在盖层)和紫木凶金矿(在基底),只是其出现的几率比角度不整合

此外,受不整合面控制的矿床一般埋深较浅,据

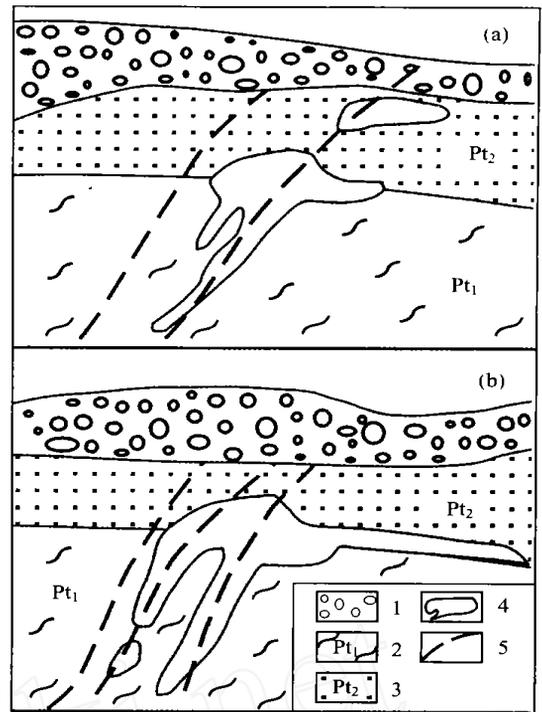


图 2 加拿大凯湖铀矿床德尔曼矿体剖面示意图 (据仇宝聚等,1997^[3])

Fig. 2 Sketch map of Deilmann ore body of Key Lake uranium deposit in Canada
1—冰川沉积;2—下元古界沉积变质岩;3—中元古界阿萨巴斯卡砂岩;4—铀矿体;5—断层;(a) —(b):不同剖面编号

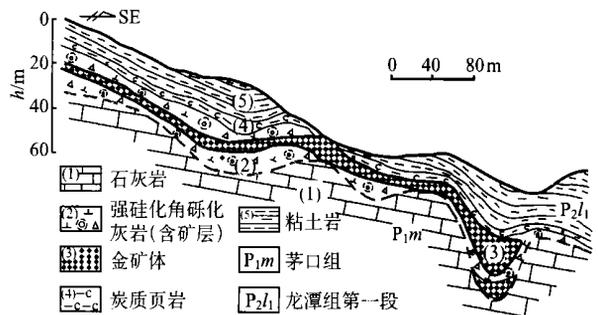


图 3 戈塘金矿床 3-3 勘探线剖面 (据韩至钧等,1999^[13])

Fig. 3 Section along No. 3-3 prospecting line in Cetang gold deposit

已知的几个矿床资料,矿床距地表的深度通常不超过 500 m,如贵州水银洞金矿(盲矿)顶层主矿体()离地表为 300 m,广东长坑金银矿最大埋深 140~215 m,桂西北地区微细粒型金矿的成矿深度在 1000 m 左右^[22],加拿大凯湖铀矿床的盖特纳矿体平均埋深为 10 m,德尔曼矿体产于地表以下 60~140 m,加拿大西加湖铀矿床原生矿体顶界距地表 410 m^[3]。虽然,现在的矿床埋深和成矿深度有很大的差别,但从桂西北各个矿床测定的压力为(136.8~

330) $\times 10^5$ Pa, 计算得出其成矿深度也只有1 000 m左右^[22], 因此总的成矿深度是不大的。

3 不整合面及其附近成矿机制的探讨

目前一般认为, 矿床特别是大型矿床的形成, 一般要具备下列基本条件: 充足的成矿物质, 良好的导矿通道与储矿场所, 有利于矿质沉淀的物理化学环境, 优质的保存条件和驱动成矿流体的动力与能量。

众所周知, 不整合面是一个容易失稳的界面, 是构造的薄弱部位, 因此在后期的构造运动时, 该处容易发生挤压破碎, 致使断裂构造非常发育, 从而形成一个呈面型分布的高孔隙度的区带, 为矿床的形成提供了良好的导矿通道和储矿场所, 因此在不整合面及其附近往往容易成矿。由于不整合面是呈范围不等的区域性展布的, 因此受其控制的矿床通常都是呈矿产密集区出现。资料显示, 存在有与不整合面有关的矿床分布区, 其附近的地质体中的成矿元素丰度普遍较高。例如加拿大的阿萨巴斯卡盆地区的古元古代基底新鲜的黑云母-堇青石-斜长石片麻岩的 U_3O_8 的平均丰度达 13×10^{-6} , 澳大利亚的东阿利盖特河区不整合脉型超大型铀矿下部的太古宙基底纳纳姆布杂岩体中的太古宙二云母花岗片麻岩, U 的平均质量分数达 9×10^{-6} , 明显高于 U 的地壳平均丰度 ($2.5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$)。我国黔西南受不整合面控制的戈塘金矿附近的粘土岩 Au 的丰度为 44.7×10^{-9} , 玄武质粘土为 54.33×10^{-9} ^[6], 黔西南地区主要沉积岩 Au 的平均丰度为 (2.2 ~ 8.45) $\times 10^{-9}$, 其中泥盆系下统坡脚组 105 个样品的平均含金量为 9.53×10^{-9} ^[6], 在不整合面及其附近产有大量金(锑)矿床的广西右江盆地中的古生代地层 Au 的丰度值为 (4.11 ~ 9.02) $\times 10^{-9}$, 中生代三叠系陆源碎屑岩的含金量为 (6 ~ 99) $\times 10^{-9}$ ^[8]。产有不整合面型的滥泥坪式铜矿的云南东川地区, 其不整合面下面就是富铜的昆阳群因民组、落雪组的铜矿层位。与之相反的例子是在云南江城地区, 那里也存在有震旦系与昆阳群的角度不整合, 可该区的不整合面中却没有铜矿, 其原因很可能是它的附近缺乏富铜的地质体, 那里的基底是铜含量极低的昆阳群美党组地层。显然, 成矿元素的高丰度场为在不整合面及其附近成矿提供了必要条件。这一认识, 也可从产于不整合面中的矿种与该区域内其他类型矿床的矿种相似的事实得到佐证(见前面 2.6 节)。

从地球化学的角度来看, 不整合面是一个地球化学的转换带或存在一个地球化学障, 这有利于成矿元素沉淀并富集成矿。同时, 在不整合面的形成过程中, 它先暴露到地表接受风化作用, 堆积了一些粘土物质, 以后又发生海侵或湖进过程中, 于是在这古风化面的低洼处沉积了一些有机质。这些粘土物质和有机质, 在同生沉积阶段预富集了部分成矿元素, 特别是在后期构造运动中, 对流经不整合面的成矿流体中的成矿元素, 起了吸附与还原作用, 使成矿元素沉淀下来而富集成矿。

特别值得指出的是, 沿不整合面发生的断裂构造实际上是一个浅层的构造拆离带, 多为低角度的断层组合。在构造运动时, 这种断裂带的活动有三大特点: 一是这种构造拆离带极不稳定, 其活动频率比一般的断层更高; 二是断裂带活动时挤压和拉张通常是同时发生; 三是当这种较平缓的断裂带活动时, 常会牵引角度不整合面下面基底中早期形成的断裂重新活动和引发不整合面的盖层与基底中产生新的张性裂隙。正是由于不整合面是一个失稳的界面, 显然就容易发生多期次的挤压与拉张的断裂构造活动。多期次活动的结果, 一方面可以导致成矿热液(流体)不断地进入和得到补充; 另一方面应力挤压断裂活动又像水泵工作一样, 对成矿溶液具有驱动作用, 这就更有利于矿液的运移和多次富集, 而不只是静止地等着成矿溶液的进入和沉淀, 这可能是不整合面附近的矿床一般规模相对较大, 品位较富的原因。当然, 这种构造作用不应该是强烈的造山运动, 否则, 在不整合面中形成的矿床、矿体就会遭受破坏, 而得不到保存。因此, 不整合面中矿床形成以后, 需要有一个相对比较稳定的地质环境, 稳定的时间越久, 矿床的规模可能性就越大、品位就越富, 这是在评价和找矿时应予以注意和考虑的。

综合上述, 与不整合面有关的矿床的成矿过程大致可分为 2 个主要阶段: (1) 在不整合面或古侵蚀面形成时, 一部分成矿元素随粘土物质和有机质等沉积物一起沉积下来, 形成成矿元素的高丰度异常体或矿化层, 但这不是主成矿阶段; (2) 当不整合面或古侵蚀面形成并埋藏之后, 在后期的构造作用下, 沿不整合面或古侵蚀面发生挤压和断裂破碎。这一方面形成了构造破碎带, 为成矿提供了良好的通道和储矿场所; 另一方面, 由于不整合面或古侵蚀面是一个非常不稳的地质界面, 它相对于正常岩石来说, 该处更容易产生应力释放、发生构造挤压和断裂破

碎,进而不断地驱动成矿热液的输入,把更多的成矿物质运送到不整合面或古侵蚀面中来。不整合面或古侵蚀面中存在的粘土物质、有机质、张性裂隙以及其地球化学障的环境,致使成矿物质被吸附、还原、流体降温、减压而沉淀下来,并富集成为矿床。应该说这才是主成矿阶段,因此,不整合面中的矿床主要是一种热液矿床。埋藏的不整合面或古侵蚀面本身就是一个良好的封闭环境,矿床形成之后,只要不发生强烈的构造运动,矿床就得以保存。

4 讨论

很多矿床存在于不整合面中和不整合面是导矿、储矿的良好场所的事实,目前已被广泛公认,但对于不整合面中矿床的形成机制至今讨论较少,特别是为什么不整合面附近的矿床多呈矿产密集区产出,而且有的不整合面附近有矿,有的却无矿?为什么不整合面中的矿床的矿种和该区其他类型矿床的矿种相似?为什么不整合面型矿床主要只是一些 Au, U, Cu, Pb, Zn, PGE, As, Ni 等的低温热液为主的矿床(化)和低温蚀变?为什么我国至今找不到分布于加拿大、澳大利亚且规模巨大的不整合脉型铀矿?只找到了一些铀矿化,而未发现有这种类型的(大型)铀矿床。上述问题有的在前面讨论中已经涉及到了,下面只讨论 3 个问题,而对成矿流体是如何进入不整合面中的?有无深源流体?在不整合面中的构造样式等地球化学、构造与成矿机制等问题,今后还需进行深入研究。

4.1 为什么我国找不到规模巨大的前寒武纪不整合脉型铀矿

早在 1977 年,涂光炽院士就明确指出:自古生代(甚至中元古代)以来,我国地壳活动频繁,把前寒武系搞得支离破碎,缺乏形成准平原化的条件,不利于形成古风化壳型富铁矿。基于我国地壳演化的特点,随后他又提出,我国也不利于形成不整合脉型铀矿和古砾岩型金铀矿。前已述及,不整合面中的矿床形成以后,保存条件非常重要,它包括有不透水层覆盖或成矿后地壳的稳定性。加拿大和北澳地区的不整合脉型铀矿床都是产于前寒武系地层中,那里的地质背景是稳定的地盾,显生宙以后地壳长期处于不太活动的状态,北澳上元古界的砂岩在景观上酷似我国第三纪砂岩。我国从元古宙以来,广大地区地壳经历了强烈的晋宁运动、加里东运动、海西运

动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等构造运动,尽管这些运动在不同各地区的影响和强度有所差别,但任何一个地区都遭受了两次以上的地壳运动,因此在我国欲找到规模巨大的前寒武纪不整合脉型铀矿的可能性很少。

但燕山运动以后,我国的地壳活动主要是一种升降运动,而且相对较弱,影响范围较小,对燕山运动后期形成的矿床还是可以保存的,加之矿床的顶板一般都有一层透水性差的细碎屑粘土岩作为保护层。结合不整合面中有利的成矿条件,我们认为在我国形成大、中、小型矿床和成矿区带还是很有利的,目前的找矿事实也证明了这一点,最近在江西省侏罗系上统的不整合面中找到了铀平均品位达 7% 的富铀矿床。因此我们仍应重视不整合面及其附近的找矿与成矿机理研究。

4.2 为什么不整合面中的矿床主要是 Au, U, Cu, Pb, Zn, PGE 等一些低温热液矿床

不整合面中的成矿作用包括有沉积和热液叠加两个阶段。沉积阶段的粘土、有机质在沉积的同时,同沉积了一些成矿元素,但这不是主要成矿阶段。主要的成矿作用是发生在后期的热液叠加阶段,它与不整合面形成之后的多期次的构造活动密切相关。

不同类型的不整合面通常是在浅层呈区域性展布的,而且产状相对比较平缓。在后期的构造运动中,不整合面很不稳定,极易沿不整合面发生类似于层间断裂那样的滑动、挤压、破碎,在不整合面中形成片理化岩石和构造角砾岩。由于这一不稳定的特点,致使在不整合面中这种反复滑动、挤压就会多次发生,其结果是一方面加强了不整合面的连通性,扩大了成矿流体的流动范围和成矿物质的沉淀场所;另一方面是反复多次驱动活动于不整合面周围地质体中的成矿热液,连续不断地进入到不整合面中,造成成矿物质的多次富集。这一成矿作用主要是发生在地壳浅部,当没有岩浆侵入的条件下,成矿流体的温度通常是不高的,不整合面中的矿床以低温蚀变为主的围岩蚀变也证实了这一点,因此成矿过程基本上也是在低温条件下完成的,Au, U, Cu, Pb, Zn, Sb (Hg), PGE 等一些易在低温条件下迁移的成矿元素就在不整合面附近形成低温(为主)热液矿床。

4.3 角度不整合面中的矿床容易和(韧性)剪切带型矿床相混

由于不整合面在构造运动时具有多期次活动

的特点,因此,沿不整合面的断裂构造非常发育,挤压和拉张现象极其明显。在构造活动过程中,在角度不整合面内还会引发不整合面下部基底中原有断裂的拉张、活化和上部盖层中新断裂的产生。于是在角度不整合面附近就形成了挤压扭动和拉张破碎并存的断裂密集区,其特点与韧性剪切带相似。如加拿大的 Hemlo 金矿被认为是韧性剪切带型^[4],浙江治岭头金银多金属矿亦有人^[23]认为其 Ag-Au 的控矿构造是韧性剪切带,滇东北断裂破碎带型播卡金矿也可能是受不整合面控制的矿床。

本研究应该说还是初步的,所列举的很多矿床中单个矿床的地质地球化学研究还很不够,但很多矿床受不整合面的控制已是不争的事实,因此开展与不整合面有关矿床的找矿与成矿机制研究是完全必要的。

本工作得到了贵州紫金矿业公司、贵州 105 地质队、核工业西北 203 研究所和西北 216 队的大力支持与帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢。

References [参考文献]:

- [1] CHEN Ziyuan. Prospect for controlling hydrocarbon by multistage unconformities in Tanim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1996, 17(4): 318-321 (in Chinese). [陈子元. 塔里木盆地多期不整合面的控油前景[J]. 新疆石油地质, 1996, 17(4): 318-321.]
- [2] ZHOU Weixun, GUO Fusheng(translator). *Guidebook to Accompany IAEA Map: World Distribution of Uranium Deposits* [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2000. 61-66(in Chinese). [周维勋,郭福生,译. 世界铀矿床录——国际原子能机构世界铀矿床分布图阅读指南[M]. 北京:原子能出版社,2000. 61-66.]
- [3] ZHANG Baoju, GAO Bi 'e. *Super-large Uranium Deposits in World and the Temination Type in China* [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1997. 8-95 (in Chinese). [仇宝聚,高必娥. 世界超大型铀矿床与中国目标类型[M]. 北京:原子能出版社,1997. 8-95.]
- [4] LIN Shoufa. Stratigraphic and structural setting of the Hemlo gold deposit, Ontario [DB/OL]. <http://www.cseg.ca/conferences/2000/142.PDF>
- [5] ZHANG Zhenqiang, QU Xianliang. Prospecting potential analysis of unconformable vein super-larger uranium deposits in East Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2001, 10(3): 172-175 (in Chinese). [张振强,曲先良. 辽东不整合脉超大型铀矿床找矿前景分析[J]. 地质与资源, 2001, 10(3): 172-175.]
- [6] ZHOU Junfa, QIAN Jianmin. The metallogenic epoch of Zhilingtou Gold-silver Deposit[J]. *Geology of Zhejiang*, 1996, 12(1): 60-66 (in Chinese). [周俊法,钱建民. 治岭头金银矿床的成矿时代[J]. 浙江地质, 1996, 12(1): 60-66.]
- [7] GAO Zhenmin, LI Hongyang, YANG Zhusen, et al. *Ore Forming and Exploration of Main-Type Gold Deposits in Yunnan and Guizhou Provinces* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 68-71 (in Chinese). [高振敏,李红阳,杨竹森,等. 滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿[M]. 北京:地质出版社,2002. 68-71.]
- [8] LI Zhiwei, LIU Helin, QIAN Xianggui. The significance of unconformity and its later transfer movement in gold metallogenesis: An example from gold deposits in the contiguous area of Yunnan-Guizhou-Guangxi provinces[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(Suppl): 52-56 (in Chinese). [李志伟,刘和林,钱祥贵. 不整合面及其后期转化在金矿成矿中的意义——以滇黔桂毗邻区金矿为例[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(增刊): 52-56.]
- [9] LI Zhiwei, TIAN Min, LIU Helin, et al. Isochronous stratigraphic interfaces and their Au metallogenesis in Late Palaeozoic-Mesozoic sedimentary basin of SE Yunnan [J]. *Yunnan Geology*, 2001, 20(2): 176-185 (in Chinese). [李志伟,田敏,刘和林,等. 滇东南晚古生代—中生代沉积盆地内等时性地层界面及其与金矿成矿关系[J]. 云南地质, 2001, 20(2): 176-185.]
- [10] HUANG Hongwei. Discussion on origin of microgranular gold deposit in the Youjiang Basin [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002(1): 1-9 (in Chinese). [黄宏伟. 广西右江盆地微细粒型金矿成因探讨[J]. 华南地质与矿产, 2002(1): 1-9.]
- [11] CHEN Kaili. Palaeo-erosion sedimentary discontinuity type gold deposit of western Guangxi [J]. *Guangxi Geology*, 2001, 14(1): 37-40 (in Chinese). [陈开礼. 桂西古侵蚀沉积间断面型金矿床[J]. 广西地质, 2001, 14(1): 37-40.]
- [12] HE Lixian, ZENG Ruolan, LIN Liqing. *Geology of Gold Deposits of Guizhou* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 78-79 (in Chinese). [何立贤,曾若兰,林立青. 贵州金矿地质[M]. 北京:地质出版社, 1993. 78-79.]
- [13] HAN Zhijun, WANG Yangeng, FENG Jizhou, et al. *Geology and Exploration of Sedimentary-Rock-Hosted Disseminated Gold Deposits in Southern Guizhou* [M]. Guiyang: Guizhou Sciences and Technology Press, 1999. 39 (in Chinese). [韩至钧,王砚耕,冯济舟. 黔西南金矿地质与勘查[M]. 贵阳:贵州科技出版社, 1999. 39.]
- [14] TAO Ping, LI Peigang, LI Keqing. The structure of the deposits of the Nibao Goldfield and its relationship with metallogenesis [J]. *Guizhou Geology*, 2002, 19(4): 221-227 (in Chinese). [陶平,李沛刚,李克庆. 贵州泥堡金矿区矿床构造及其与成矿的关系[J]. 贵州地质, 2002, 19(4): 221-227.]
- [15] MAO Xiaodong, HUANG Jingsi. Discussion on geochemistry of trace and rare earth elements in the Changkeng-Fuwan gold-silver deposit, Guangdong [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2002, 29(4): 410-412 (in Chinese). [毛晓冬,黄静思. 广东长坑-富湾金银矿床微量元素及稀土元素地球化学[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(4): 410-412.]
- [16] ZHU Meixiang, LAI Yong. The characteristics of mineral deposits related to geothermal activity and the possibility of existence of fossil geothermal zones in the southeastern coastal area of China [J]. *Regional Geology of China*, 1995(4): 370 (in Chinese). [朱梅

- 湘. 赖勇. 与地热活动有关矿床的特征和东南沿海古地热带存在的可能性[J]. 中国区域地质, 1995(4):370.]
- [17] CHEN Genwen, XIA Bing, WU Yanzhi, et al. Controls of sedimentary rock on sandstone-hosted copper deposits in Chuxiong Basin[J]. *J Mineral Petrol*, 2002, 22(3): 24-25 (in Chinese). [陈根文, 夏斌, 吴延之, 等. 沉积岩对楚雄盆地砂岩铜矿成矿的控制[J]. 矿物岩石, 2002, 22(3):24-25.]
- [18] WANG Baoqun. Important breakthrough in exploration of ir-situ leachable sandstone-type uranium deposits at southern margin of Ili Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2002, 20(2): 106-107 (in Chinese). [王保群. 伊犁盆地南缘可地浸砂岩型铀矿的重大突破[J]. 新疆地质, 2002, 20(2):106-107.]
- [19] HUANG Yi. Uranium mineralization and character of uranium-bearing interlayer oxidization zones at the southern margin of Ili Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2002, 20(2):141-145 (in Chinese). [黄以. 新疆伊犁盆地南缘层间氧化带及铀矿化特征[J]. 新疆地质, 2002, 20(2):141-145.]
- [20] <http://www.agr.gov.sk.ca/acre/MinResMap> 2000. PDF
- [21] XIANG Caifu, ZHUANG Xinguo, ZHANG Wenhui, et al. Studies on the pass-way systems of the ore-forming fluids: According to the carlin type gold deposits in Youjiang District[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2000, 19(4):65-68 (in Chinese). [向才富, 庄新国, 张文淮, 等. 成矿流体运移的输导系统研究——以右江地区微细浸染型金矿为例[J]. 地质科技情报, 2000, 19(4):65-68.]
- [22] GUO Jiahui. The metallogenetic conditions of the super micrograin-type gold deposits in northwestern Guangxi and its minerogenetic prognoses[J]. *Journal of Precious Metal Geology*, 1994, 3(3): 233-240 (in Chinese). [国家辉. 桂西北地区超微粒型金矿成矿条件及其成矿预测[J]. 贵金属地质, 1994, 3(3):233-240.]
- [23] WANG Siyuan, XIAO Qibing, ZENG Jianguo. Dynamic formation and evolution of ore-controlling tectonic systems in Suichang silver-gold orefield[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(4):410-414 (in Chinese). [王思源, 肖骑兵, 曾建国. 浙江遂昌银-金矿田构造体系控矿的动力演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4):410-414.]

MINERALIZATION MECHANISM AND PROSPECTION ON UNCONFORMABLE CONTACTS

LI Chao-yang, LIU Yu-ping, GUAN Tai-yang, PI Dao-hui, YE Lin
(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: Unconformity contains two types: disconformity and clino-unconformity. Mineralization occurred near the unconformable contact is an ubiquitous phenomenon. The unconformable contact was usually considered as a good transporting channel and a depositing room for ore-forming fluid. However, it has not yet been seriously considered that the structural movement of later stages occurred in the unconformable contact might play a big role in the mineralization (or the transportation of ore-forming fluids). On the basis of lots of ore deposits that occurred on unconformable contact, we have summed up the main characteristics of them as follows: all ore deposits occurred on unconformable contact or near basement and cover strata, usually distributed as mineral concentration regions with large reserves and high grade; the mineralization process of these mineral deposits is of two stages: the sedimentary stage and the hydrothermal superposing stage, in which the alteration of wall rocks occurred mainly under low temperature; the ore-forming elements of this kind of deposit are nearly the same as those of other types of deposits in the same area; but in two different types of unconformable contact the shape of ore body and the place of mineral deposits are different. Finally, we discuss why there are no unconformable type of uranium deposit in China, and why the deposits occurred in the unconformable contact in China are mainly characterized by epithermal types.

Key words: unconformable contact; characteristics of mineral deposits; mineralization mechanism