

文章编号: 0379-1726(2000)03-0223-08

223-230

东坪式金矿床铅同位素组成特征及其化探评价

包志伟, 赵振华, 张佩华, 王一先

(中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 东坪式金矿床产于华北克拉通北缘深大断裂——尚义-赤城断裂的南侧, 海西期水泉沟正长岩杂岩体内外接触带。矿体具有明显的分层性, 自上而下矿石类型由石英脉型向钾、硅化蚀变岩型过渡。矿床形成于燕山早期, 成矿物质主要来源于正长岩杂岩体。矿石铅同位素组成与正长岩杂岩体相似, 在 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 图解上, 矿石、正长岩、矿石中的钾长石脉石及太古宇桑干群变质岩呈线性分布, 矿石与正长岩在铅同位素组成上更接近, 而与太古宙变质岩有明显的区别。在穿脉剖面上, 随着钾、硅化蚀变程度的增加, U、Th 含量降低, 铅同位素矢量特征值 V_1 、 V_2 值随蚀变程度增加有降低的趋势, 但近矿脉样品由于受矿化影响而不同于蚀变围岩。矿石和蚀变围岩的 V_1 、 V_2 值与其所处的海拔高度 h 呈正相关关系, $h_{v_1} = 1351 + 9.3 V_1$, 相关系数 $r = 0.77$; $h_{v_2} = 1222 + 17.2 V_2$, 相关系数 $r = 0.92$ 。根据对华北克拉通金矿床铅同位素组成范围的研究资料, 取 $V_1 = -70$ 、 $V_2 = -30$ 作为东坪式金矿矿石铅同位素组成的下限, 则矿床可以延伸至 700 m 左右的海拔高程, 即东坪金矿床的垂向延伸可超过 1 000 m。表明有必要进一步加强深部找矿工作。

关键词: 铅同位素; 正长岩; 热液金矿; 东坪; 河北省**中图分类号:** P597; P618.51 **文献标识码:** A

金矿床 化探评价

0 引言

冀西北是我国重要的黄金产区之一, 其中与碱性岩有关的金矿床(化)产于河北省崇礼县和赤城县境内。构造上位于华北克拉通北缘深大断裂——尚义-赤城断裂的南侧。矿床产于水泉沟正长岩杂岩体的内外接触带, 与水泉沟碱性杂岩体有成因联系。主要矿床有: 东坪金矿、转枝莲金矿、中山沟金矿、后沟金矿、黄土梁金矿和小营盘地区的黑土沟金矿等。其中以东坪金矿发现最早、规模最大, 矿石类型也最齐全, 故以东坪金矿作为此类型金矿的代表。“东坪式”金矿床是与碱性正长岩体有密切成因联系、产于碱性杂岩体内外接触带的改造型热液矿床。“东坪式”金矿与水泉沟碱性杂岩体之间存在着明显的成因联系, 成矿物质主要来源于碱性杂岩体^[1-4]。

铅同位素化探始于 20 世纪 60 年代, Gulson *et al.*^[5] 和 Foley *et al.*^[6] 通过建立已知矿体铅同位素

组成靶标并以此作为评价未知目标的标准, 即铅同位素打靶, 使铅同位素化探得到了发展。80 年代以来, 澳大利亚和加拿大等国开始用铅同位素化探方法进行块状硫化物矿床和 Cu、Au、U 等矿床的地质找矿, 并取得了可喜成果^[7]。在我国, 一些研究者根据矿石与未矿化围岩铅同素组成的差异, 对地表铅同位素异常的含矿性预测进行了有益的尝试^[8, 9]。近年来发展起来的铅同位素三维拓扑法能对隐伏矿体作出较好的预测, 同位素数据三维空间拓扑投影特征值可以综合反映 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 三个比值的变化并提高分辨率^[10], 从而更好地反映由于壳幔演化所造成的矿体铅同位素组成的差异。

自 1985 年东坪金矿发现以来, 一些单位和个人相继对东坪金矿进行过成矿预测研究。1991~1994 年, 中国人民武装警察部队二总队八支队与中国科学院广州地球化学研究所在《东坪式金矿成矿规律及成矿预测》课题中, 对东坪金矿区 1-70 号脉群提出 F 级储量预测 26 t。东坪金矿床目前探明储量已

收稿日期: 1999-12-21; 修订日期: 2000-03-01

基金项目: 国家攀登预选资助项目(95-预-25); 中国科学院重点基金资助项目(KZ-952-91-414)

作者简介: 包志伟(1963-), 男, 副研究员, 地球化学专业。

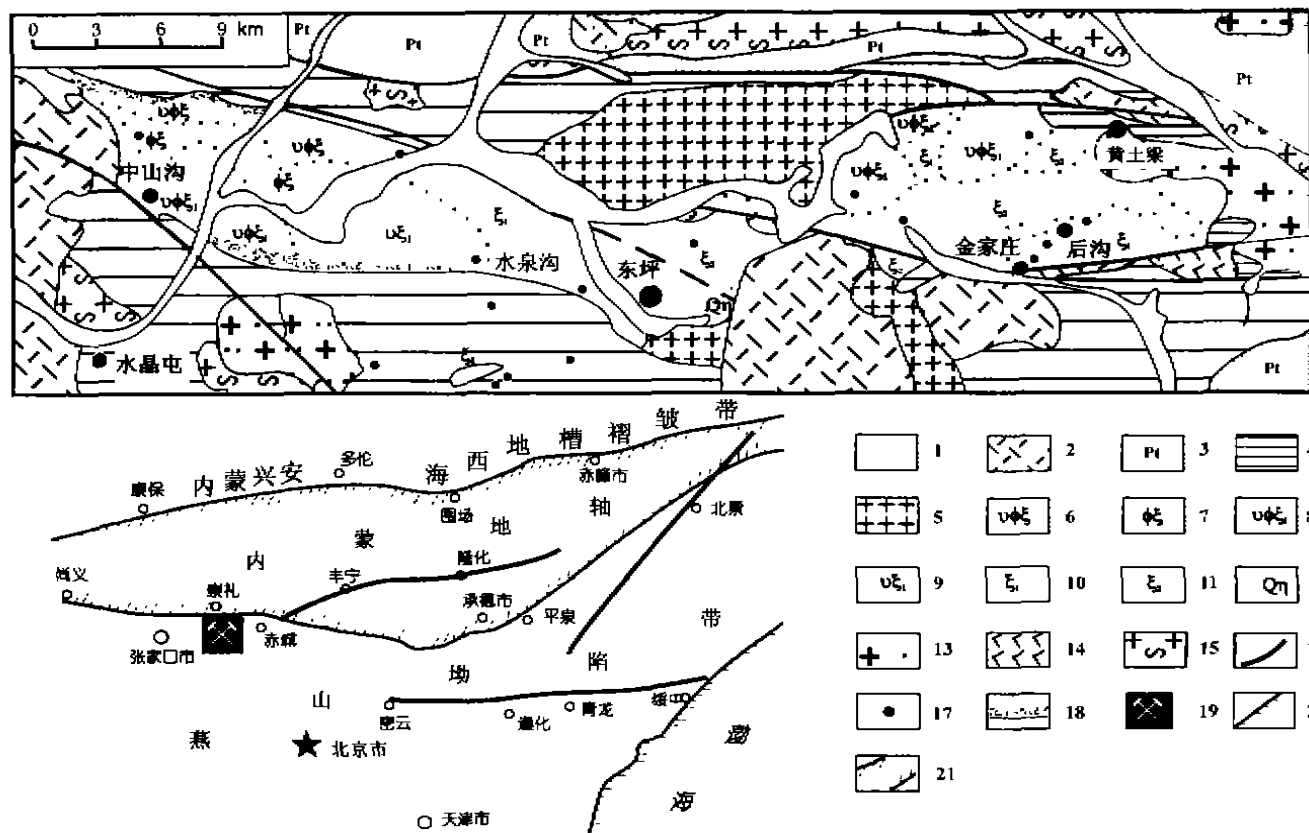


图1 河北省张家口水泉沟正长岩杂岩体地质与金矿分布略图

Fig. 1 Sketch map showing the geology of the Shuiquangou syenite complex and the distribution of the gold deposits, Zhangjiakou, Hebei Province
 1. 第四系; 2. 侏罗系; 3. 元古宇; 4. 太古宇桑干群; 5. 燕山期花岗岩; 6. 辉石角闪正长岩; 7. 角闪正长岩; 8. 辉石角闪碱长正长岩; 9. 辉石碱长正长岩; 10. 碱长正长岩; 11. 石英碱长正长岩; 12. 石英二长岩; 13. 元古宙巨斑状花岗岩; 14. 元古宙辉石岩; 15. 太古宙花岗岩片麻岩; 16 断裂; 17 金矿; 18. 边缘混染带; 19. 研究区域; 20. 海岸线; 21. 褶皱带。

达到特大型, 并极有可能达到超大型金矿床的规模。通过对东坪式金矿不同海拔高程矿石、蚀变围岩的系统采样和铅同位素分析, 我们发现铅同位素组成不仅对矿床成因具有指示意义, 而且对矿化深度也有重要的预测价值。

1 金矿地质特征

1.1 岩体地质

水泉沟正长岩杂岩体呈东西向狭长带状出露, 长约 55 km, 宽 5~8 km, 面积约 340 km²。总体上向南侧倾伏, 北部近于直立, 倾角 70°~80°, 南部倾角 40°~50°(图 1)。从其重力测量资料可知, 岩体呈现出明显向南突出的弧形负异常, 显示出岩体向南倾伏的趋势。在地质产状上, 水泉沟岩体主体以南近 10 km 的大湾一带也有同水泉沟碱性杂岩体岩性相近的正长岩小岩株出露^[1]。赤城-尚义地区航磁数据显示岩体西段向南延展宽度较大, 一直延伸 to 小营

盘金矿附近, 并出现多个岩体轮廓, 这与地球物理所揭示的水泉沟杂岩体向南倾伏相一致^[11]。水泉沟正长岩杂岩北部的岩体在形态上为上大下小, 说明已有一定程度的剥蚀, 而南部岩体则为上小下大, 反映了其剥蚀程度很低。小营盘矿区周围隐伏正长岩岩体的存在, 以及与东坪金矿矿床地质特征相近的黑土沟金矿的发现, 表明小营盘金矿成矿作用很可能也与水泉沟碱性杂岩体有成因联系, 并与东坪金矿共同组成与碱性杂岩体有关的金矿成矿系列^[1]。

杂岩体与太古宇地层总体上呈侵入接触关系, 岩体南侧有一宽数米至数十米的混染带。杂岩体由众多的岩石类型组成, 主要有碱性长石正长岩、石英碱长正长岩、辉石角闪正长岩、角闪辉石碱长正长岩、辉石闪长岩和石英二长岩等。岩体的边部和顶部发育原生流动构造, 主要岩石类型的石英颗粒中均有熔融包裹体的存在。根据微量元素和同位素研究, 其成岩物质主要源于上地幔, 形成时代为海西期

1) 赵振华, 张家口地区金矿问题报告会上的发言, 1992。

[角闪石 Ar-Ar 坪年龄为 $(327.4 \pm 9) \text{ Ma}$]^[12]。

1.2 金矿床地质特征

“东坪式”金矿具有明显的分层性,东坪式金矿床由三种类型矿石组成,即硫化物石英脉型、石英网脉+脉旁钾硅化蚀变岩型和钾硅化蚀变岩型。它们在空间上自上而下逐渐过渡,也可单独出现,这一特点可概括为“三层楼式”成矿模式。同一矿化类型的矿化强度从上到下存在逐步减弱的趋势。最常见的矿石结构有自形或他形粒状结构、交代网脉状结构和骸晶结构等;常见的构造有团块状构造、浸染状构造、条带状及网脉状构造等。矿石为贫硫化物型,金属硫化物以黄铁矿为主,黄铜矿,方铅矿、闪锌矿、镜铁矿和白铁矿次之,并含有少量的褐铁矿、磁铁矿和穆磁铁矿。金矿物主要为自然金、碲金矿和碲金银矿。热液成矿作用可分为四个成矿阶段:即钾长石-石英阶段、石英-黄铁矿阶段、石英多金属硫化物阶段和黄铁矿-碳酸盐阶段。金成矿时代为燕山期(脉石矿物钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄为 $156 \sim 177 \text{ Ma}$)^[11]。矿床成因研究表明,金矿成矿物质主要来源于正长岩杂岩体,成矿热液为以大气降水为主的混合热液^[2,3]。

2 铅同位素组成特征及化探意义

2.1 东坪式金矿的铅同位素组成特征

本次研究对东坪金矿矿区 1 号脉、2 号脉、4 号脉、70 号脉、转枝莲矿点,以及小营盘矿区的黑土沟采区进行了野外观察取样,其中,对 1 号脉自地表(海拔高程 1 735 m)、1620 中段、1584 中段、1538 中段、1503 中段、1464 中段、1427 中段、1390 中段、1375 中段、1344 中段进行了系统采样,对 4 号脉和黑土沟金矿进行了垂直观察并进行了系统采样。

铅同位素分析在中国科学院广州地球化学研究所超净实验室完成。用 HF + HNO₃ 在聚四氟乙烯溶样罐中加热溶解,阴离子树脂分离后,用 VG-354 质谱计测定。全流程本底 Pb $2 \times 10^{-10} \text{ g}$, NBS 标样平均值为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.934 \pm 0.007$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.486 \pm 0.012$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.673 \pm 0.033$ 。铅同位素比值精度优于 0.1%。

全岩及矿石样品 Pb 同位素分析结果(表 1)显示,水泉沟碱性正长岩杂岩体的岩石铅同位素为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.457 \sim 17.676$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.270 \sim 15.517$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.533 \sim 37.764$, 铅同位素矢量特征值 $V_1 = -9.18 \sim 23.6$, $V_2 = -2.71 \sim 18.7$ (根据文献[10]公式计算)。与岩石相比,矿石的铅同位素组成变化较大,且略富放射性成因铅,矿石铅同位素组成为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.093 \sim 18.200$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.112 \sim 15.704$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.468 \sim 38.389$, $V_1 = -29.2 \sim 43.6$, $V_2 = -3.82 \sim 45.0$ 。矿石中的方铅矿单矿物与矿石样品的铅同位素组成相近,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.145 \sim 17.672$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.112 \sim 15.555$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.468 \sim 37.791$, $V_1 = -29.2 \sim 18.6$, $V_2 = -3.82 \sim 18.2$ 。矿脉中钾长石的铅同位素组成与赋矿围岩石碱性正长岩接近, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.537 \sim 17.595$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.453 \sim 15.474$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.447 \sim 37.533$, $V_1 = 4.57 \sim 6.32$, $V_2 = 12.1 \sim 15.1$ 。在 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 图解上(图 2),正长岩、金矿石、矿石中的脉石钾长石与太古宙桑干群变质岩呈线性分布,图中金矿石与碱性岩的分布范围非常接近,表明东坪式金矿床成矿物质具有多源性,但水泉沟碱性正长岩杂岩体应是东坪式金矿的主要矿源岩。

对东坪式金矿床不同海拔高程金矿石的铅同位素研究表明,由上而下矿石 V_1 、 V_2 值有减小的趋势;水平剖面上,上部由岩石→蚀变岩石→矿石, V_1

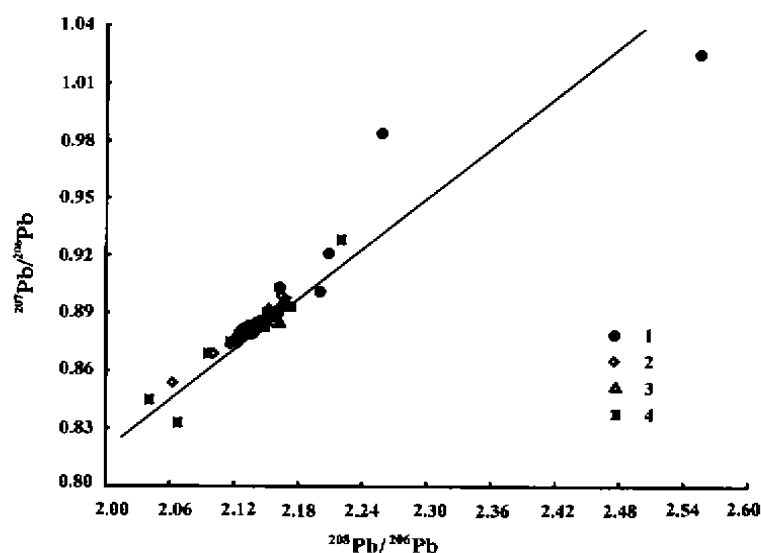


图 2 东坪式金矿床 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 图解

Fig. 2 Diagram of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ of the Dongping-type gold deposit

1. 斜长角闪片麻岩; 2. 石英脉型矿石; 3. 钾硅化蚀变岩型矿石; 4. 正长岩。

表1 东坪式金矿矿石、岩石及单矿物铅同位素组成

Table 1 Lead isotope compositions of the ores, rocks, and single minerals from the Dongping-type gold deposit

样号	采样位置及名称	海拔高程(m)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	V_1	V_2
DP16	YD7 方铅矿	1 620	17.625	15.505	37.649	11.3	15.1
89-178 ^[13]	1548 方铅矿	1 548	17.630	15.553	37.770	18.6	17.8
89-189 ^[13]	1503 方铅矿	1 503	17.577	15.505	37.540	10.4	15.8
89-195 ^[13]	1464 方铅矿	1 464	17.672	15.555	37.791	17.9	18.2
89-119 ^[12]	中山沟方铅矿	1 330	17.443	15.430	37.352	3.33	10.3
90-74 ^[13]	后沟 1280 方铅矿	1 280	17.145	15.112	36.468	-29.2	-3.82
90-67 ^[13]	后沟 1260 方铅矿	1 280	17.325	15.279	36.908	-14.1	3.83
DP92-251	YD6 矿石	1 620	17.682	15.623	37.974	28.3	21.9
DP92-269	YD3 矿石	1 584	17.329	15.440	37.405	9.49	9.34
DP-17	YD3 矿石	1 584	17.747	15.704	38.389	43.6	24.7
DP92-227	1538 中段矿石	1 538	17.630	15.577	37.823	22.1	19.2
DP92-230	1503 中段矿石	1 503	17.517	15.471	37.460	7.27	13.3
DP-18	1503 矿石	1 503	17.673	15.604	37.959	26.5	20.4
DP92-273	1464 中段矿石	1 464	17.579	15.517	37.622	13.4	15.9
89-120 ^[11]	中山沟黄铁矿	1 330	17.223	15.384	37.119	1.00	6.79
D129 ^[14]	1464 中段 CM17 钾长石	1 464	17.580	15.463	37.452	5.41	14.4
B-1	1427 中段硅钾化正长岩	1 427	17.413	15.435	37.374	5.37	10.1
B-4	钾硅化近矿脉蚀变岩石	1 427	17.553	15.427	37.282	0.653	14.1
B-6	钾化蚀变岩	1 427	17.506	15.500	37.540	12.3	14.7
B-8	碱长正长岩原岩	1 427	17.676	15.509	37.573	10.8	18.7
D159 ^[14]	1427 中段 CM25 钾长石	1 427	17.537	15.453	37.447	4.57	12.1
D173 ^[14]	1390 中段 CM45 钾长石	1 390	17.595	15.474	37.533	6.32	15.1
DP92-70-1	中山沟 1330 中段 2 号脉下盘	1 330	17.321	15.422	37.413	8.26	7.67
DP92-70-3	蚀变正长岩	1 330	17.356	15.413	37.314	3.81	8.37
DP92-70-5	蚀变正长岩	1 330	17.303	15.424	37.413	9.08	7.66
DP92-70-7	蚀变正长岩	1 330	17.379	15.517	37.764	23.6	12.3
DP92-70-9	蚀变正长岩	1 330	17.096	15.324	37.084	-1.05	0.914
DP97-1	1 号脉 1584 钾化正长岩	1 584	17.718	15.496	37.486	9.73	21.4
DP97-2	1 号脉 1584 钾化正长岩	1 584	17.587	15.456	37.368	3.58	15.5
DP97-3	1 号脉 1584 石英矿脉	1 584	17.722	15.488	37.502	10.2	21.3
DP97-5	1584 石英矿脉旁蚀变岩	1 584	17.615	15.451	37.403	5.13	16.3
DP97-4	1 号脉 1584 钾化正长岩	1 584	17.709	15.504	37.522	10.4	20.8
DP97-6	1 号脉 1538 石英矿脉	1 538	17.704	15.665	38.184	36.5	23.3
DP97-7	1 号脉 1538 脉旁钾化正长岩	1 538	17.459	15.343	37.283	1.50	11.5
DP97-16	70 号脉石英矿脉	1 344	17.642	15.626	37.955	29.4	21.9
DP97-32	70 号脉石英矿脉	1 390	17.428	15.474	37.469	10.8	12.5
DP97-39	4 号脉石英脉	1 740	17.677	15.552	37.765	16.8	18.3
DP97-41	4 号脉石英脉	1 710	17.582	15.496	37.572	10.1	14.8
DP97-42	4 号脉石英脉	1 690	17.836	15.586	37.862	21.7	25.1
DP97-43	4 号脉石英脉	1 675	17.299	15.440	37.389	10.1	9.22
DP97-44	4 号脉石英脉	1 640	17.692	15.559	37.812	18.1	18.5
DP97-46	1 号脉石英矿脉	1 700	17.818	15.477	37.442	11.2	16.3
DP97-53	安山岩		17.123	15.444	37.775	26.0	3.55
DP97-56	2 号脉含矿石英脉	1 735	17.494	15.465	37.425	6.65	12.9
DP97-57	2 号脉含矿石英脉	1 700	18.200	15.534	37.547	23.4	45.0
HT-62	黑土沟石英脉	1 414	17.093	15.378	36.994	1.97	6.45
HT-64	黑土沟石英脉	1 425	17.259	15.388	37.146	0.771	7.17
HT-65	黑土沟石英脉	1 431	17.611	15.646	37.926	31.6	23.6
HT-66	黑土沟石英脉	1 445	17.333	15.437	37.273	5.88	10.6
HT-67	黑土沟石英脉	1 457	17.259	15.432	37.348	9.79	8.62
89-27 ^[12]	背盘地角闪正长岩		16.457	15.270	36.533	3.70	-2.64
87-27 ^[12]	下双台角闪正长岩		16.457	15.270	36.539	3.85	-2.71
90-161 ^[12]	东坪正长岩		17.390	15.472	37.393	10.1	12.8
D238	东坪钾化正长岩		17.443	15.408	37.266	-0.83	9.38
DP23	东坪 ZK3072 石英正长石		17.576	15.278	36.847	-9.18	16.7
90-61 ^[12]	后沟岩石		17.354	15.320	37.084	-9.15	4.23
DP25	片麻岩		16.609	15.302	36.665	4.27	-0.324
DP26	片麻岩		15.255	15.016	34.425	-24.6	-4.46

注:分析者为中国科学院广州地球化学研究所同位素实验室刘颖、涂湘林。

值呈高→低→高的变化规律(图 3), 显示出由于 U、Th 向矿脉及上部迁移(表 2, 图 4)而造成放射性成因铅同位素组成的改变。上部矿石及矿石中的方铅矿单矿物的 V_1 值高于围岩, 而下部矿石的 V_1 值低于围岩, 如后沟金矿石中方铅矿单矿物的 V_1 值出现负值。显示出在成矿过程中由于 U、Th 的活化迁移, 放射性成因铅由围岩向矿脉以及由深部向浅部矿石的铅同位素矢量特征值的系统变化。矿石、矿石中硫化物及近矿蚀变围岩具有非常接近的放射性成因同位素比值, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值分别稳定在 0.88 和 2.13, 与区内斜长角闪片麻岩、安山岩及与矿化关系较不密切的角闪正长岩有较大的差别。

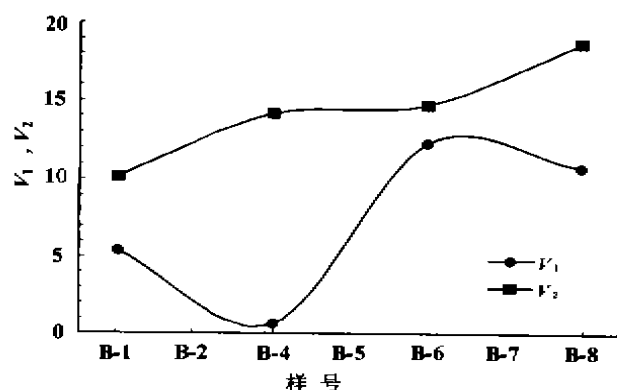


图 3 东坪金矿 70 号脉 1427 中段穿脉剖面正长岩 - 近矿蚀变岩铅同位素矢量特征值变化

Fig. 3 Variation of the V_1 and V_2 within the transection profile at Level 1427 ort, Vein 70, the Dongping gold deposit

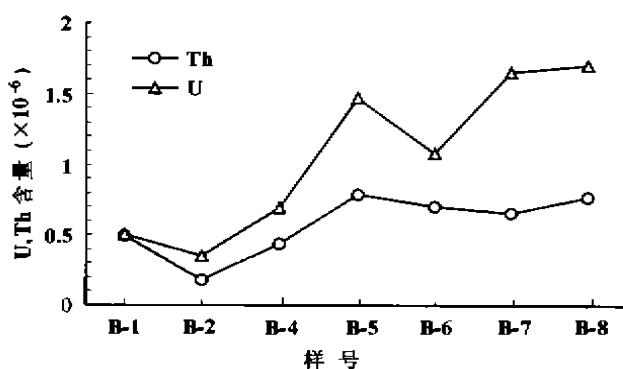


图 4 东坪金矿 70 号脉 1427 中段穿脉剖面 U、Th 含量变化

Fig. 4 Variations of U and Th content within a transection profile at the Level 1427 ort, Vein 70, the Dongping gold deposit

样品 B-1 至 B-5 的采样间距为 2 m, B-5 至 B-8 为 5 m; 由未蚀变的正长岩 B-8 至钾长石化(B-6、B-7)、强钾长石化和绢云母化(B-4、B-5), 向石英脉旁钾硅化蚀变正长岩(B-1、B-2)U、Th 含量降低。

表 2 东坪式金矿床围岩及矿石 U、Th 含量($\times 10^{-6}$)

Table 2 Contents ($\times 10^{-6}$) of U and Th of the wall-rocks and the ores from the Dongping-type gold deposit

样号	U	Th	U/Th
B-1	0.503	0.492	1.02
B-2	0.354	0.184	1.92
B-4	0.691	0.439	1.57
B-5	1.466	0.782	1.87
B-6	1.076	0.702	1.53
B-7	1.646	0.654	2.52
B-8	1.697	0.772	2.20
DP92-273	0.289	0.039	7.41
DP92-227	0.170	0.478	0.356
DP92-230	0.764	0.236	3.24
DP92-251	0.869	0.144	6.03
DP92-269	2.134	0.091	23.5

注: 分析者为中国科学院广州地球化学研究所 ICP-MS 实验室刘颖, 分析误差小于 5%。

2.2 铅同位素的化探意义

据统计研究, 产于侵入体内外接触带的金矿床可以有很大的延伸范围, 如加拿大产于新太古界正长斑岩和正长岩大岩株中的克尔连德 - 莱克矿床, 其主矿体的延伸深度超过 2 000 m^[15]。“东坪式”金矿床矿体类型具有明显的分层性。从地表向深部, 矿床类型具有明显垂直分带, 即石英脉型→石英脉+脉旁蚀变岩型→钾(硅)化蚀变岩型, 这三种类型金矿体在空间上自上而下分布, 并逐渐过渡。

常规的地表化探异常易受各种地质作用影响, 产生成矿元素化探异常的假象, 而同位素化探可以排除许多干扰信号, 不受近期风化淋滤作用的影响, 因此对于寻找隐伏矿床具有重要意义。由于壳幔的分异作用, 岩石圈中 U 含量及 U/Pb 比值具有明显的随深度呈指数衰减的特征。在矿床形成过程中, 无论是岩浆热液、热水沉积或是改造型矿床, 都表现出明显的壳幔混合和元素分异特征, 特别是 U、Pb 的分异比地壳大得多。尽管矿床的主矿体具有较均一的同位素组成, 但铅同位素的 V_1 和 V_2 值从地表到深部仍有很大的变化。如云南龙腭河铜矿在海拔 200 m 到 120 m 的变化范围内, 铜矿体 V_1 值从 216 下降到 141, V_2 值从 132 降至 90^[16]。根据所研究矿区内不同高程的矿石铅同位素三维空间拓扑特征值^[16]与其海拔标高的线性拟合, 对比其所处的铅同位素省同类矿床已知的铅同位素三维空间拓扑特征

值下限,可以用来推断矿床的深延范围。

华北克拉通矿石铅同位素组成与华南矿石铅有明显区别,华北克拉通一般明显表现出富 Th-Pb 而贫 U-Pb 的特征,也有少部分具有 U-Pb 与 Th-Pb 同时亏损的特征。矿石铅同位素矢量特征值 V_2 值普遍小于 20,但大于 -40,而 V_1 具有从 -80 到 +120 的很大变化范围^[10]。因此,根据 V_1 与 V_2 值随深度的变化,外推使其达到不同块体大型矿床主体的 V_1 与 V_2 值(如华北克拉通 V_1 值约为 15 ± 5 , V_2 约为 10 ± 5 左右)对应的深度,便是主矿体深度预测的基本模式。再外推到该区该矿种已知的 V_1 和 V_2 下限值,则可以推断出该矿床的最大延伸深度。一般这种预测的深度误差在 ± 50 m 左右^[10]。

由于矿石结构、构造的复杂性和采样、分析中的偶然误差,不同高程样品铅同位素组成的规律性受到一定的影响,如果剔除个别明显异常的样品,将后沟、中山沟和东坪作为同一成矿体系进行处理,不同海拔标高铅同位素组成的统计表明,矿石的海拔标高与铅同位素矢量特征值之间存在协变关系。矿石的海拔高程与铅同位素矢量特征值之间存在如下线性关系, $h_{V_1} = 1\,351 + 9.3 V_1$, 相关系数 $r = 0.77$; $h_{V_2} = 1\,222 + 17.2 V_2$, 相关系数 $r = 0.92$ (图 5)。

鉴于华北地台金矿床矿石铅同位素组成特征值 $V_1 > -80$, $V_2 > -40$ ^[10], 作为保守估计, V_1 取 -70, V_2 取 -30 作为矿床铅同位素特征值的下限,则可以预测东坪金矿的金矿化深度分别可以达到 700 m 和 706 m 海拔高程。在《东坪式金矿成矿规律

及成矿预测》课题研究中,我们曾用地质类比法提出东坪下部(1号脉南延部分)的富集区段应处于海拔 850 ~ 1 150 m 水平之间,铅同位素化探结果与上述找矿预测基本吻合,表明“东坪式”金矿床矿化可能向下延伸达到 700 m 左右的海拔标高,即东坪金矿矿体垂向延伸可以超过 1 000 m。中国人民武装警察部队二总队八支队近期的深部钻探工作亦证实,深部钾硅化蚀变岩型金矿体可以有较大的延伸。因此,“东坪式”金矿床是一种垂向延伸较大、深部蕴矿潜力巨大的金矿床。总体规模可达超大型。

3 结 论

根据“东坪式”金矿床与水泉沟碱性杂岩体的密切成因联系,结合地质、地球物理和遥感资料以及岩体总体向南侧倾伏直达小营盘地区附近的地质事实,我们认为应加强水泉沟碱性杂岩体南部隐伏矿床的找矿勘探工作。“东坪式”金矿围岩蚀变造成的铅同位素组成变化可以作为矿脉追踪的辅助手段。根据矿石铅同位素矢量特征值 V_1 、 V_2 值与其海拔标高的相关关系,结合矿床产出的华北克拉通铅同位素省背景值研究,可以对矿床延伸范围作出定量的预测。“东坪式”金矿床金成矿的垂向延伸较大,可能超过 1 000 m。地球物理、航磁资料显示水泉沟碱性杂岩体向南侧倾伏,南部剥蚀程度较小,岩体的空间形态为上小下大。杂岩体南部直至小营盘地区深部极有可能发现产出于杂岩体内外接触

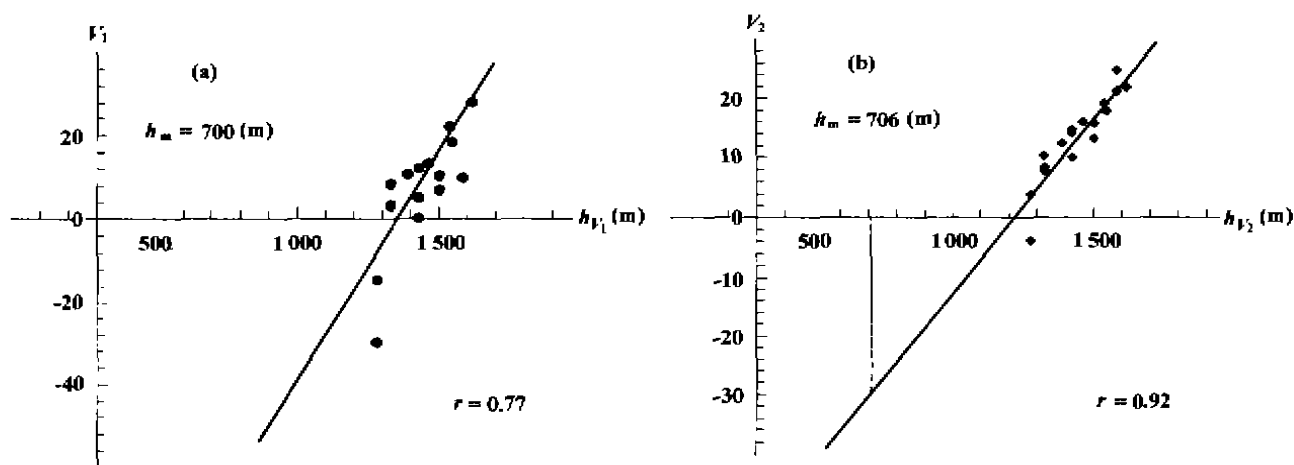


图 5 东坪式金矿铅同位素特征值深部隐伏矿体预测图

Fig. 5 Prospecting vertical extending depth of the ore-body of the Dongping-type gold deposit using the correlation between the V_1 and V_2 vectors and the elevation of the samples

h_m 为矿化预测深度。

带的金矿体。

野外工作中得到中国人民武装警察部队二总队八支队和东坪金矿的大力支持和协助;常向阳副研究员、朱炳泉研究员在资料处理方面给予热情指导并提供铅同位素计算程序;审稿专家及编委提出一些建设性的修改意见,在此谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 河北省东坪碱性杂岩金矿地质[M]. 北京:地震出版社, 1996. 111~131.
- [2] 包志伟, 赵振华, 周玲棣, 等. 冀西北与碱性岩有关的金矿床的成因探讨[J]. 地质地球化学, 1996, (1): 72~77.
- [3] Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua, Zhou Lingdi, et al. Geochemistry and metallogenetic model of Dongping type gold deposit related to alkali-syenite [A]. Pang Zhonghe, et al. Advances in Solid Earth Sciences [C]. Beijing: Science Press, 1996. 165~173.
- [4] 包志伟, 赵振华. 东坪金矿床成矿过程中稀土元素活动性[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 81~90.
- [5] Gulson B L, Large R R, Porritt, P M. Gold exploration using lead isotopes at Tennant Creek, Australia [J]. Appl Geochem, 1988, 3: 243~254.
- [6] Foley N K, Ayuso R A. Lead isotope compositions as guides to early gold mineralization: The north Amethyst vein system, Creede District, Colorado. Econ Geol [J], 1994, 89: 1 842~1 859.
- [7] Simonetti A, Bell K, Hall G E M. Pb isotopic ratios and elemental abundances for selective leachates from near-surface till: Implications for mineral exploration[J]. Appl Geochem, 1996, 11(5): 721~734.
- [8] Huang Bin. Assessment of geochemical anomalies for gold exploration using lead isotopes in West Hanan, China[J]. J Geochem E, 1995, 55(1-3): 33~48.
- [9] 常向阳, 朱炳泉, 孙大中, 等. 东川铜矿床同位素地球化学研究: I. 地层年代与铅同位素化探意义[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 32~38.
- [10] 朱炳泉. 矿石 Pb 同位素三维空间拓扑图解用于地球化学省与矿种区划[J]. 地球化学, 1993, 22(3): 209~216.
- [11] 吴顺发, 周治新. 冀北赤城-尚义地区航磁数据处理及其地质意义解析[J]. 黄金地质, 1995, 1(3): 72~75.
- [12] 包志伟, 赵振华, 周玲棣, 等. 冀西北水泉沟正长岩杂岩体的成因[J]. 岩石学报, 1996, 12(4): 562~572.
- [13] 王郁, 蒋心明, 商木元, 等. 冀西北与偏碱性岩有关的金矿床地质特征及成因[J]. 地质论评, 1994, 4(4): 368~376.
- [14] 莫渊辉. 张家口地区金矿床地球化学及成因研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 1995.
- [15] Нерасов Е М. 国外矿化垂直延伸大的金矿床[J]. 地质地球化学, 1981, (5): 1~8.
- [16] 常向阳, 朱炳泉, 邹日. 铅同位素系统剖面化探与隐伏矿深度预测——以云南金平龙脖河铜矿为例[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(1): 33~39.

Lead isotopic compositions of the Dongping-type gold deposit and their exploration application

BAO Zhi-wei, ZHAO Zhen-hua, ZHANG Pei-hua, WANG Yi-xian

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The Dongping-type gold deposits occur at the inner and outer contact zones of the Shuiquangou syenite complex, which locates to the south of the northern margin fault of the North China Craton. There are three types of ores in this type of deposits, pyrite-quartz vein type, pyrite-quartz-K-feldspar type, and pyrite-K-feldsparthized syenite type. The ore types vary from auriferous quartz vein at the upper part to silicified and K-feldsparthized syenite at the bottom of the ore bodies. The hydrothermal gold mineralization occurred in early Yanshanian Period, although the Shuiquangou syenite complex emplaced in Hercynian Period. The Pb, S, Si isotope and trace element investigations suggest that the principal ore forming material came from the syenite complex. The Pb isotopic compositions of the ores are similar to those of the syenite, as shown in the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ diagram, the ores, syenite, and Archean metamorphic rocks are linearly correlated and the ores are more closely related to the syenite than Archean metamorphic rocks do. Within a lateral transection profile that traversing a auriferous quartz vein, the contents of U and Th decrease as the K-feldsparthization and silicification increase, while the V_1 and V_2 have a similar variation trend with the exception of the samples near the auriferous vein. The V_1 and V_2 are positively correlated to the elevation of the samples, where, $h_v = 1\,351 + 9.3 V_1$ with a correlation coefficient $r = 0.77$; $h_v = 1\,222 + 17.2 V_2$, with $r = 0.92$. Regarding the lead isotope data of gold deposits within the North China Craton, $V_1 = -70$ and $V_2 = -30$ are taken as the lower limits of the Dongping-type deposits, and the maximum vertical extension of gold mineralization will be exceed 1 000 m. Thus, the gold exploration to the lower part of the gold mineralization should be reinforced in future exploration campaign.

Key words: lead isotope; syenite; hydrothermal gold deposit; Dongping; Hebei Province