

文章编号: 1001-1412(2000)02-0115-18

美国内华达 Goldstrike 矿区 卡林型贝茨金矿同变形的富矿分带(续)

Stephen G. Peters¹, Gregory C. Ferdock²,
Maria B. Woitsekhovskaya¹, Robert Leonardson³, Jerry Rahn³

(1. 美国地质调查所 里诺分部, 内华达大学 马凯矿业学院, 美国 内华达 里诺 89557-0047;

2. 美国内华达大学 马凯矿业学院 地质科学系, 美国 内华达 里诺 89557-0047;

3. 巴利克 Goldstrike 矿业有限公司 矿山地质部, 美国 内华达 埃尔科 89803)

关键词: 卡林型金矿; 同变形; 富矿分带; 内华达; 美国

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

(接第1期第16页)

3 富矿分带与控制因素

贝茨金矿中不同矿石矿物组合和蚀变类型的分布与构造背景、围岩岩石及在矿体中的位置有关。根据形态、矿物组成和地质背景可分出几种空间形式截然不同的矿石类型, 彼此之间由废石或低含金量的岩石所分隔。富矿体的地球化学、矿物学、地质及冶金方面的分带在三维空间上是连续的。富矿体的形状和定位与 Peters 向斜构造的特征, 沉积岩的岩石组成以及闪长岩接触带的几何形态和厚度有关(图 6A, B)。

根据不同的矿石类型和围岩类型的研究结果, 对不同的富矿体进行了分类和判别。Peters(1996, 1997a), Leonardson 和 Rahn(1996) 将贝茨金矿的矿石分为 6 种不同的类型。这些矿石类型及其有关岩石类型大体上与富矿体的类型相对应(图 11, 12)。角砾岩是大部分富矿体的围岩。Peters 等(1997) 根据产出地质背景、矿物组成、地球化学及形态, 对角砾岩的形态进行了区分。

这些富矿体与角砾岩具有明显一致的岩石学特征, 而在几何形态、矿物组成、地球化学、构

收稿日期: 1999-09-30;

第一作者简介: Stephen G. Peters(1948-), 男, 研究员, 博士, 1987 年在澳大利亚 Cook 大学获地质学博士学位, 先后在美国、澳大利亚任矿山地质评估师、矿山总地质师、主任地质师、研究员等职, 长期从事金矿勘查和研究工作, 发表论文 60 余篇。

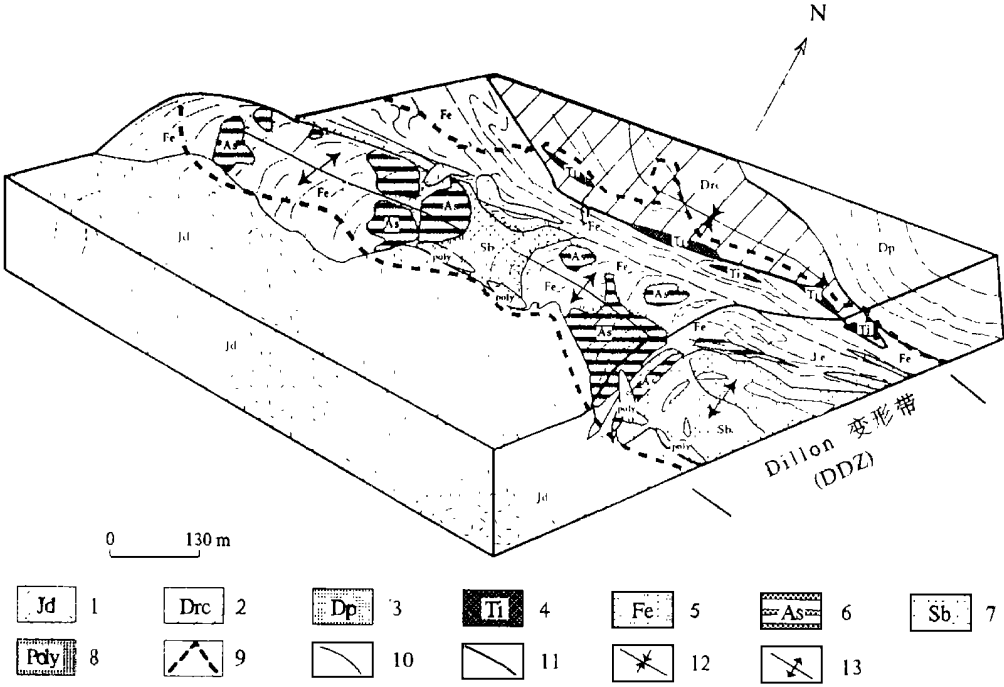


图 12 贝茨金矿 1 533~1 666 m 标高断块图

Fig. 12 Diagrammatic block diagram of the Betze orebody at about the 1 533~1 666 m.

1. 闪长岩(侏罗纪) 2. Rodeo Creek 岩段(泥盆系) 3. Popovich 灰岩(泥盆系) 4. 含金红石矿石
5. 伊利石-粘土-黄铁矿矿石 6. 含雄黄、雌黄矿石 7. 含辉锑矿硅质矿石 8. 多金属矿石
9. 贝茨金矿矿体边界($\geq 1.0 \times 10^{-6}$) 10. 接触界线 11. 主要断层 12. 向斜 13. 背斜

造样式, 及矿体定位等方面的特征却不尽相同。富矿体有 5 种主要类型: (1) 含金红石的硅质富矿体; (2) 伊利石-粘土-黄铁矿富矿体; (3) 含雄黄-雌黄的富矿体; (4) 含辉锑矿的硅质富矿体; (5) 多金属富矿体(图 11, 12)。这些富矿体类型的特征见表 2。每种富矿体的代表性样品化学分析结果见表 3。贝茨金矿中上部海拔 1 600 m 的地方产有 36 个富矿体, 可以讲贝茨金矿至少有 60% 的矿体为富矿体。按照由矿体顶部到底部, 从东北部到西南部各类富矿体的产出顺序, 总结其特征如下。这种顺序也与各类富矿体从老到新的生成顺序大体一致。

3.1 含金红石的硅质富矿体

含金红石硅质富矿体(Peters 1996, 1997a 所指顶板硅质角砾岩层) 沿 Rodeo Creek 岩段与 Popovich 灰岩之间 300 m 宽的过渡接触带分布。宏观上它们呈红-灰黑色, 长 6~40 m, 宽 2~25 m, 缓倾斜的圆丘状透镜体产出(图 5, 6B, 11, 表 2)。从微观上看, 这些富矿体具有毫米级或更小的斑杂豆状, 毫米-微米级的钛铁矿、榍石、磁铁矿、黄铁矿、金红石、闪锌矿和豆状磷灰石等不同矿物组合的连生集合体(图 4)。这些富矿体具明显的 Zn, Ni, P, V 和 Ti 异常(表 3), $w(\text{Au})$ 品位 $15.5 \times 10^{-6} \sim 64 \times 10^{-6}$ 。Rodeo Creek 岩段与 Popovich 灰岩之间过渡带中的

表2 内华达州北部贝茨金矿的各类富矿特征

Table. 2 Characteristics of ore shoots, Betze orebody, northern Nevada

富矿体类型	矿体位置	主要围岩	规模	结构和 岩石类型	形状	典型矿物	黄铁矿类型	石英类型	穿插关系	地球化学特征 (品位)
含金红石富矿体	顶板, 上中部 300 m 长	Drc 与 Dp 过渡 接触带	长 40~60 m 宽 2~15 m	上隆、坍塌、构造岩	扁透镜体群	石英、锆石、钛铁矿、榍石、豆状磁铁矿、金红石、磷灰石、稀土矿物、黄铁矿、富神黄铁矿	浸染状、放射状富神黄铁矿	隐晶基质厚 0.5~1 mm 粗脉	可能切割伊利石-粘土-黄铁矿矿石, 或同期形成	Au, Fe, P $w(\text{Au}) 15 \times 10^{-6}$ $\sim 65 \times 10^{-6}$
伊利石-粘土-黄铁矿富矿体	中上部, DDZ 带主要矿石类型	Dp(Drc, Drcm, Ja)	厚 2~10 m 长 5~50 m	角砾状、千糜状褶皱	延长状、面状、层状、断层面泥	伊利石、粘土、石英、富神黄铁矿、碳	浸染状 0.01~2 mm 自形或半自形晶或集合体	1 mm~1 cm 厚的结晶细脉, 部分二氧化硅团块	为其他所有类型矿石切割	Hg, Cr, Zn, Cu, Ba, Ni, V, (Cr, P, Ti) $w(\text{Ag}) 3.2 \times 10^{-6}$ $\sim 7.8 \times 10^{-6}$
含雄黄-雌黄富矿体	底板, Id 接触带, 在富含锑矿和重晶石矿石之上	Id 接触带 角砾状 Dp	长 150~6 m 厚 30 m	千糜状、角砾状褶皱	圆丘状控制	雄黄、雌黄、黄铁矿、白铁矿、方解石、磷灰岩	浸染状的低锑和高锑黄铁矿	硅质角岩角砾碎屑, 局部为微晶石英	切割伊利石-粘土矿石	As, Ac, Sb $w(\text{Au}) 3.2 \times 10^{-6}$ $\sim 32 \times 10^{-6}$
含辉锑矿富矿体	中下部, 在富雄黄-雌黄矿石之下	Dp、Drcm、Ja 接触带	70×200 m 长 1000 m	破裂、坍塌、角砾	圆丘状、不规则状、规则层状控制	石英、辉锑矿、重晶石、块硫锑、铅矿、闪锌矿	成矿前二氧化硅富锑黄铁矿, 成矿后二氧化硅白铁矿-石英细脉	强烈的二氧化硅硅微晶结构另有 2~3 期纯净的和乳白色石英英细脉	切割伊利石-粘土-黄铁矿矿石, 与富含雄黄、雌黄矿石接触	Au, Sb, Ba, (Zn, Hg, Ti, As) $w(\text{Au}) < 3.2 \times 10^{-6}$
多金属富矿体	底板, 靠近 Ia 接触带	Dp, Ia 接触带	长 10~30 m 宽 5~10 m	含硫化物角砾	不规则、扁透镜状	辰砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、银矿物、磷灰石、微晶洞中的铁氧化物矿物	具富 Hg, Cu, Pb 生长边的黄铁矿, 残余的富神黄铁矿	有一些二氧化硅团块, 细脉罕见	切割伊利石-粘土-黄铁矿矿石, 富含雄黄、雌黄矿石, 富辉锑矿重晶石矿石	Au, Ba, Cu, Hg, Zn, Ni, Ag, As(P, 稀土, U, Se, Ti, Cd, Ti) $w(\text{Au}) > 15 \times 10^{-6}$

Drc-Redeolreack 岩段; Dp-Popovich 灰岩; Drcm-罗伯茨山组; Ia-侏罗纪 Goldstrike 闪长岩株, brx-角砾岩, DDZ-Dillon 变形带

碎屑矿物可以说明局部矿物含较高 Ti、U 和稀土的原因。在隐晶质的基质中一些锆石也以与稀土矿物或钛矿物连生的形式产出, 这些成金前的矿物在主要的金沉淀期间位于富砷黄铁矿和闪锌矿的中心。

含金红石硅质富矿体由构造角砾岩、杂乱的化石层或沉积角砾岩组成, 具坍塌特征, 产于富矿体之上约 1 m 的范围内。硅化表现为透入性的暗色隐晶质基质, 交代碎屑和晚期 0.5~10 mm 厚的纯净或不透明石英细脉。黄铁矿在隐晶质的石英中呈浸染状, 在细脉中呈拉长的、与脉平行的富砷黄铁矿和热液金红石的集合体。金红石可能源自围岩中的碎屑钛铁矿。

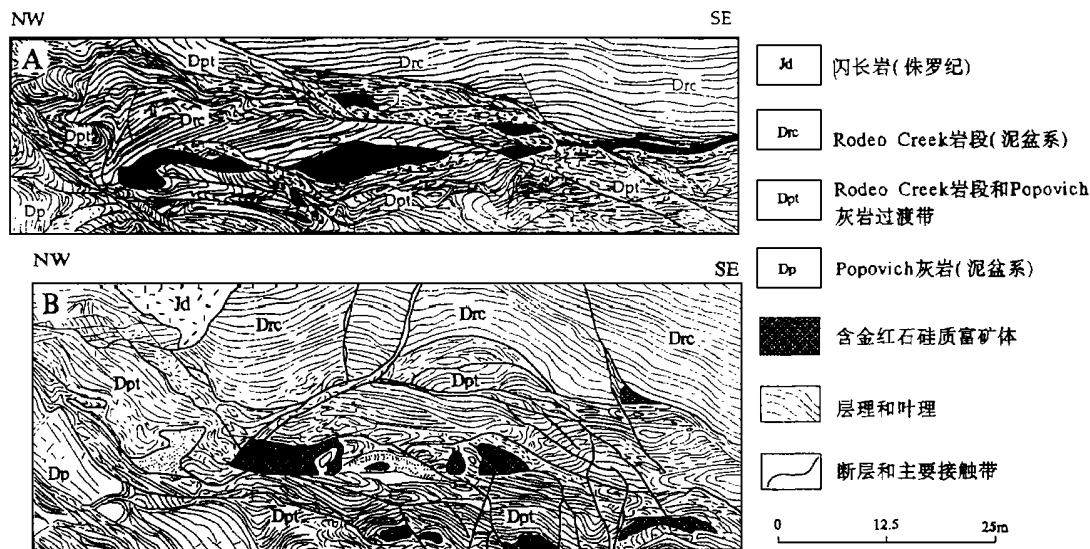


图 13 贝茨金矿 1 600~1 633 m 标高含金红石硅质角砾岩富矿素描图

Fig. 13 Bench sketches of the transitional contact between redeo creek and popovich limestone at 1 600-1633 m level showing location of rutile-bearing siliceous breccia oreshoots

3.2 伊利石-粘土-黄铁矿富矿体

含浸染状黄铁矿和碳质的伊利石-粘土蚀变岩构成贝茨金矿中上部的大部分矿石(图 12)。它们局部形成硅质角砾化的伊利石-粘土-黄铁矿体, 主要产于 DDZ 带中。矿体下部的伊利石-粘土矿物蚀变不太强, 硅化角砾较多。这种类型的矿石形成早于除含金红石硅质富矿之外的其他类型矿石。因为伊利石-粘土-黄铁矿蚀变和矿化从生成顺序看是早的, 这类矿石形成的中—微型富矿体又叠加了伊利石-粘土-黄铁矿矿石。未被后来矿石交代的伊利石-粘土-黄铁矿扁透镜矿体在 DDZ 带的局部地段被构造分隔成单个的富矿体。其他的伊利石-粘土-黄铁矿通常围绕在断层泥和千糜岩内的富矿体周围。大部分伊利石-粘土-黄铁矿富矿体 $w(\text{Au})$ 含量 $3.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}$ 。从地球化学上看, 这类矿石含有较高的 Cr, Zn, Fe, Ba, Ti 和 Cu, 局部含 Ba, Ni, V (表 3)。这些富矿体通常彼此分开, 而且也与其他类型富矿体的低品位矿带分开(图 6A, B, 图 11, 表 2)。有三种主要的结构类型: (1) 相对未变形、未角砾岩化的脱钙灰岩和粉

砂质灰岩中浸染状富砷黄铁矿(图 15A); (2) 构造千糜岩中浸染状的含金富砷黄铁矿, 产于破碎的石英细脉内及其周围(图 15B); (3) 构造上复杂的、分隔开的、通常硅化的复成因角砾(图 15C、D)。这些矿石是一种明显地经历了构造岩化的暗色、黑色含硫化物和碳的矿石, 局部强烈千糜岩化, 在层理清晰的地方, 通常褶皱作用强烈。黑和灰色的 10~50 cm 厚的富伊利石-粘土富矿体含有松软的致密状断层泥和角砾, 这些断层泥和角砾的展布平行于等斜褶皱翼部的千糜岩组构或层理。常见到沉积层理滑动带中充填有千糜状断层泥。

浸染于伊利石-粘土-黄铁矿型富矿体中的黄铁矿有几种结构和几个形成时代, 呈 0.01~2 mm 的自形晶, 他形晶及其集合体(图 10A, B; 图 15A, B, C)。黄铁矿与 0.1~1 cm 厚的隐晶质石英细脉有密切的关系。这些细脉与千糜岩平行至明显地被破碎和断开。富砷黄铁矿呈毡状结构产于石英细脉中或呈直径 < 0.01 mm 的浸染状颗粒和集合体产于千糜状围岩中。金呈微米级的颗粒包含在 1~10 μm 厚的黄铁矿生长边中(Arehart 1993 a)。金在这些富矿体中的分布不均匀。

碎裂的富伊利石-粘土、含黄铁矿的富金矿带和角砾岩扁透镜体是 DDZ 带上盘矿体中常见的组成部分。在下盘未矿化的大理岩和灰岩形成多个中型的透镜体, 彼此间为共轭状及网状的灰色伊利石-粘土层隔开。这些角砾岩层代表硅化和溶解、坍塌、碎裂及沉积角砾岩的组合。DDZ 带中最初的角砾岩由于受到剪切和褶皱而破裂、分隔开。这些特征与伊利石-粘土-黄铁矿富矿体形成期间的主要运动一致, 但形成在其他类型富矿体之前。

3.3 含雄黄-雌黄的富矿体

含雄黄-雌黄的富矿体(Peters 所指的含砷的层状矿石) 含有大量的雄黄和雌黄, 也有浸染

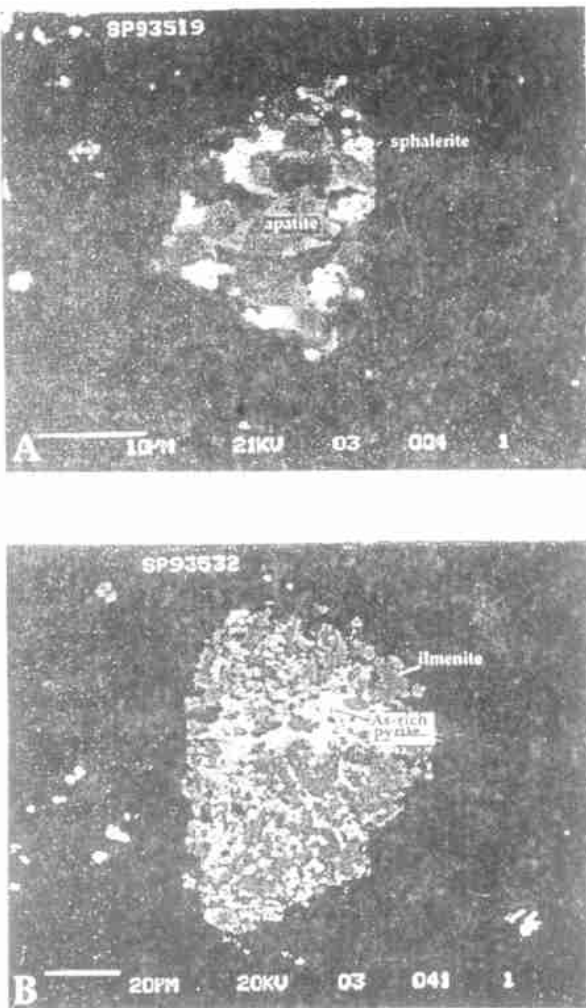


图 14 含金红石硅质角砾岩中硫化物结构的扫描电镜散射图象

Fig. 14 SEM back scatter images of some sulfide mineral texture in rutile-bearing siliceous breccia pods 黄铁矿、闪锌矿、含 Ti 或 P 矿物的斑点状海绵状、结构在硅质角砾岩扁透镜体中常见, 但在矿体中却罕见。

(A) 闪锌矿(亮的部分) 生长在豆状磷灰石中;
(B) 黄铁矿(亮的部分) 和金红石(灰色矿物) 共生。

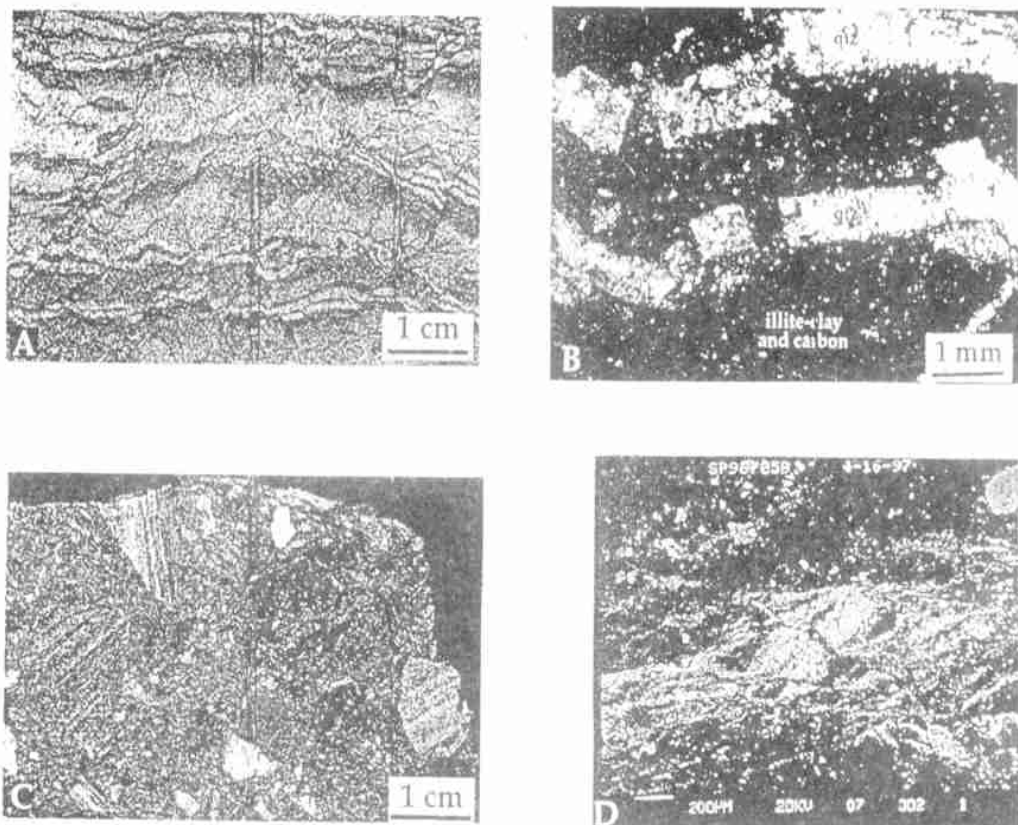


图 15 贝茨金矿主矿体中伊利石-粘土-黄铁矿富矿体(富铁)的矿石结构

Fig. 15 Variety of ore textures in illite-clay-pyrite oreshoots (Fe-rich) in the main parts of the Betze orebody.

- (A) 相对未矿化的层纹状Popovich 灰岩中的浸染状富砷黄铁矿;
 (B) 主成金期的破碎石英细脉, 平行于含浸染状微粒富 As 黄铁矿的碳质剪切带的千糜状组构
 (C) 斑杂角砾岩、富砷黄铁矿产于碎屑和基质中;
 (D) 同变形的角砾状富砷黄铁矿沿千糜状伊利石-粘土带产出。

状的黄铁矿、白铁矿及一些磷灰石(表 2)。这种矿石类型是由这些矿物在早期形成的伊利石-粘土-黄铁矿带之上沉积形成的。这种富矿体在离开闪长岩接触带 30~50 m 的矿体中上部最常见, 与闪长岩枝或接触变质、交代变质带的空间关系密切, 产在丘状硅质、含辉锑矿富矿体的周边或其中(图 11, 12 和 16A)。含雄黄-雌黄富矿体由暗灰色-黑色的脱钙、构造岩化剪切灰岩和钙硅酸岩层组成。剪切灰岩和钙硅酸岩包围未矿化, 未变形的白色结晶灰岩和大理岩透镜体(图 17A, B)。贝茨金矿南部的中上部含雄黄和雌黄富矿体 $w(\text{Au})$ 品位约为 32×10^{-6} 。未矿化的灰岩透镜体占体积的 40%~60%, 说明雄黄-雌黄中 $w(\text{Au})$ 平均品位 $> 64 \times 10^{-6}$ (图 17B, 表 2)。主矿体周围的含雄黄-雌黄矿石中金的含量低或痕量, 说明大部分金赋存于叠加有晚期雄黄、雌黄的伊利石-粘土-黄铁矿矿石中。

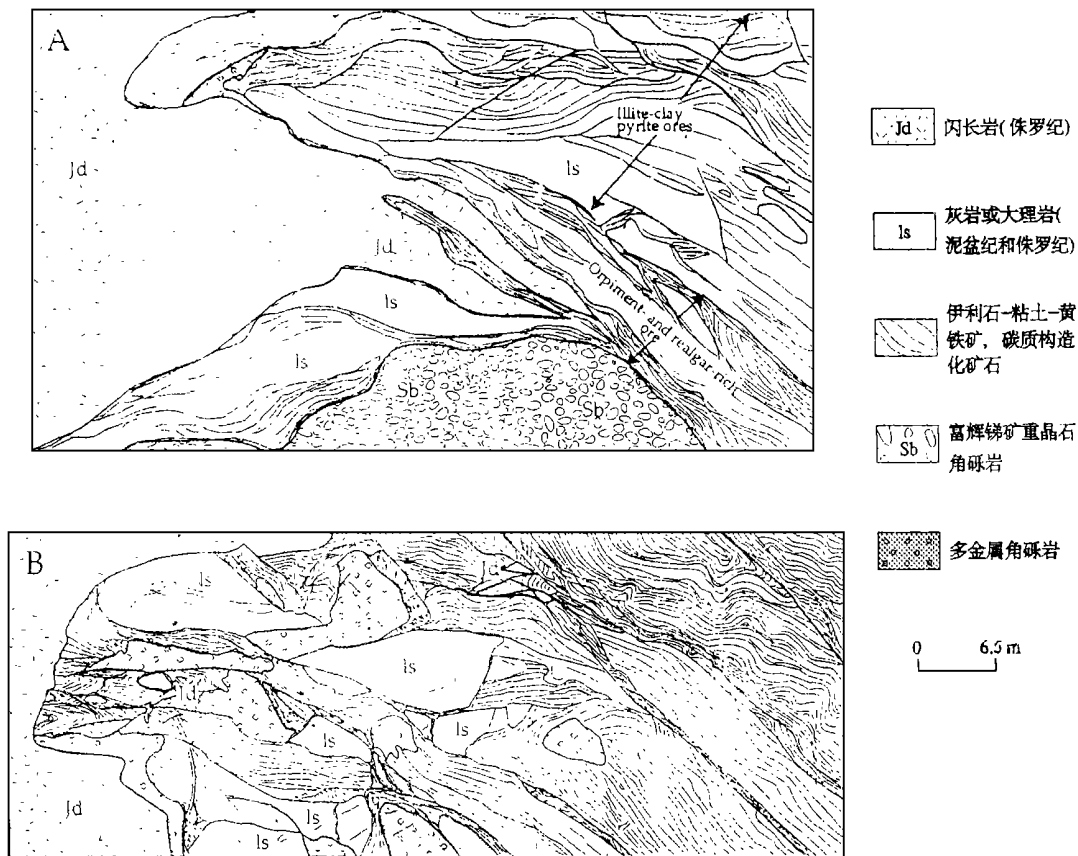


图 16 与贝茨金矿体走向平行的中段素描图, 显示 1 600~1 633 m 之间富矿体逆向分带剖面图。

Fig. 16 Bench sketches parallel to strike of the Betze orebody showing section of vertical zoning of oreshoots between 1 600 and 1 633 m levels.

A. 闪长岩枝有关的含雄黄雌黄富矿体叠加在伊利石-粘土-黄铁矿富矿体下面, 含辉钨矿硅质角砾岩矿面在富砷矿石下面 B. 沿闪长岩接触带分布的多金属角砾富矿石叠加在其他类型矿石之上。

雄黄通常呈层控状, 但在手标本中, 形成交切结构, 在硅质带和角砾碎屑中尤其如此, 这表明出现了小规模贯入和成脉作用。雌黄块体一般有更明显的交代式结构(图 17C)。雄黄还呈 5~50 mm 厚的薄层交代层理面和千糜岩层及直径为 0.1~0.5 mm 的浸染晶体。浸染状的雄黄还呈 1~5 mm 直径的集合体, 雌黄晶体中的包体交代贝壳化石并以雌黄的生长边产出。雌黄与方解石的共生比雄黄更普遍; 通常以浑圆、团块状的 5~10 mm 直径的放射状晶体产出, 还在 1~10 mm 厚的细脉中呈浸染状的 0.01~0.1 mm 直径的晶体集合体以及方解石粒间晶体产出。此外, 还产于低砷黄铁矿和角砾碎屑周围。

含雄黄-雌黄富矿体中的黄铁矿呈几种结构, 表示其大部分早于雄黄-雌黄-方解石沉淀, 黄铁矿在大部矿石中的体积占 2%~15%, 以细粒状浸染在伊利石-粘土和富硅质的矿石中,

表3 内华达北部贝茨金矿的各富矿类型的矿石元素含量
Table. 3 Selected elements in types of oreshoots, Betze deposit, northern Nevada

类型	Au	As	Ba	Fe	Sb	Hg	S	Zn	Pb	Ti	P	Cu	C	Cr	Co	Ni	Ca	K	Mg	Ag	Cd	Tl	Th	U	V
I	9200	3100	32	34000	310	300	3.43	470	7	0.04	2900	21	0.93	24	200	360	0.38	0.31	0.11	1.4	4	35	3	<100	470
	1800	530	630	9300	110	3.2	0.27	180	3	0.02	1500	13	0.34	11	10	63	0.35	0.15	0.08	0.43	1	3.8	3	<100	140
	2500	330	3600	11000	50	2.2	0.05	300	6	0.12	2400	23	1.35	44	14	75	0.14	0.88	0.09	0.9	2	2.1	3	<100	370
	500	90	3400	2700	32	1.2	0.14	43	9	0.007	600	23	0.05	8	0.1	16	0.31	0.07	0.03	0.1	11	0.4	3	<100	490
	50	420	2200	25000	120	1.2	0.16	330	22	0.09	1400	48	0.05	110	62	220	0.18	1.7	0.25	0.956	1	2.2	5	<100	600
II	19600	710	100	9400	36	260	0.77	133	6	0.03	390	19	0.2	280	1	15	0.28	0.1	0.07	1.6	1.1	NA	1.5	<0.6	25
	180	1700	870	17900	170	16	1.9	4456	11	0.19	4420	48	0.1	250	25	431	0.89	0.2	0.16	2.9	36.8	NA	6.1	78	3813
	25600	1200	310	14900	100	98	1.08	1272	12	0.1	2460	78	1.8	250	14	199	0.75	0.53	0.14	3.1	10	NA	3.7	22	750
	12600	500	170	9400	94	87	0.86	3689	13	0.09	3560	54	0.5	290	6	92	1	0.26	0.07	2	10.5	NA	2.7	45	318
	6420	250	330	10800	92	15	0.04	716	5	0.05	7360	26	0.4	370	5	147	1.97	0.11	0.07	3.8	1.6	NA	2.2	34	102
III	1970	300	400	13400	330	0.1	1.29	63	5	0.17	740	49	5.4	190	4	54	0.23	1.38	0.2	2	4.9	NA	5.9	33	638
	1780	250	410	12900	350	5	1.16	79	9	0.16	620	52	3.8	200	4	60	0.19	1.3	0.28	1.4	3.7	NA	4.8	38	626
	123	470	260	30900	150	9	2.89	33	15	0.25	930	69	6.4	190	8	139	0.32	0.55	0.25	2	0.6	NA	9.1	64	776
	4300	1200	85	9500	60	20	1.16	3600	1	0.14	1200	140	8.25	150	3	210	0.24	0.9	0.11	2.4	39	6.8	4	<100	3800
	50	2800	150	25000	130	7.5	1.89	390	7	0.37	1200	53	4.26	100	13	93	8.1	1.8	3.7	0.3	1	8.4	14	<100	270
IV	800	540	140	8900	29	3.4	0.39	110	3	0.05	3200	10	7.74	24	4	19	15	0.14	0.61	0.066	1	2.1	3	<100	86
	37000	2E+05	15	14000	>1500	0.5	10.9	490	7	0.09	1100	44	1.49	37	3	37	5.1	0.25	0.09	0.065	16	70	3	<100	89
	64000	1E+05	73	30000	1500	300	11.7	110	17	0.12	400	200	1.36	48	4	57	0.14	0.54	0.11	0.065	1	156	5	<100	170
	2800	4E+05	26	5400	1500	300	29.6	9	5	0.07	200	120	0.36	28	0.1	12	0.14	0.29	0.1	0.065	1	15	3	<100	62
	3400	4E+05	32	11000	1500	300	21.4	19	13	0.15	700	18	0.54	40	3	22	0.46	0.54	0.22	0.065	1	20	6	<100	61
V	6610	3E+05	2800	5200	1400	62	9.51	16	5	0.02	770	7	0.2	180	<1	7	0.66	0.11	0.02	<0.4	<0.5	NA	<0.4	<6.2	10
	8420	2E+05	2800	11800	1700	110	8.5	23	6	0.08	280	18	1.1	180	4	13	3.63	0.42	0.14	0.4	<0.5	NA	<0.4	<6.2	19
	5170	43000	70	4700	62	29	2.76	59	5	0.02	820	5	2.2	170	<1	6	6.95	0.09	0.25	<0.4	<0.5	NA	<0.6	<2.1	15
	5000	410	230	7700	1500	3.2	1.66	110	3	0.04	400	15	0.05	32	3	12	0.27	0.42	0.1	0.065	1	15	3	<100	44
	4200	3100	1	1400	1500	5.3	7.89	5	3	0.005	60	0.1	0.05	20	7	1	0.01	0.14	0.04	0.065	3	1.8	18	<100	10
VI	1600	470	0.5	300	1500	5.5	7.07	10	3	<0.005	40	5	0.05	4	5	1	<0.005	0.03	0.01	0.065	1	6.1	16	<100	3
	11000	2300	130	18000	300	13	1.77	60	21	0.04	300	37	1.08	23	3	54	0.11	0.52	0.08	0.39	1	15	3	<100	160
	5800	2300	190	14000	54	300	1.38	480	15	0.27	900	69	0.05	91	23	96	0.17	0.59	0.12	0.36	1	45	8	<100	190
	13000	1300	270	13000	46	300	1.35	360	10	0.18	2700	29	0.13	56	22	72	0.29	0.19	0.08	0.27	1	40	7	<100	140
	11000	920	140	6100	20	300	0.73	900	5	0.04	500	20	0.07	28	6	24	0.13	0.18	0.05	0.14	1	25	3	<100	170
VII	3530	300	1900	9300	140	13	0.78	60	6	0.11	1360	130	0.4	300	5	40	0.4	0.86	0.17	1.6	0.5	NA	5.2	10	80
	5600	730	3000	10500	200	14	0.84	52	11	0.16	1700	25	0.5	340	5	31	0.54	0.77	0.16	6.7	0.5	NA	6.9	9.3	63
	14800	140	270	4400	75	250	0.1	216	6	0.05	11860	167	1	340	4	31	2.81	0.36	0.05	13.8	0.9	NA	5.3	15	310

单位: Au, w(B)/10⁻⁹; S, Ti, Co, Ca, K, Mg, w(B)/%; 其他元素: w(B)/10⁻⁶

I. 含金红石矿石; II. 伊利石粘土-黄铁矿; III. 含雄黄雌黄矿石; IV. 含辉钨矿硅质矿石; V. 多金属矿石。

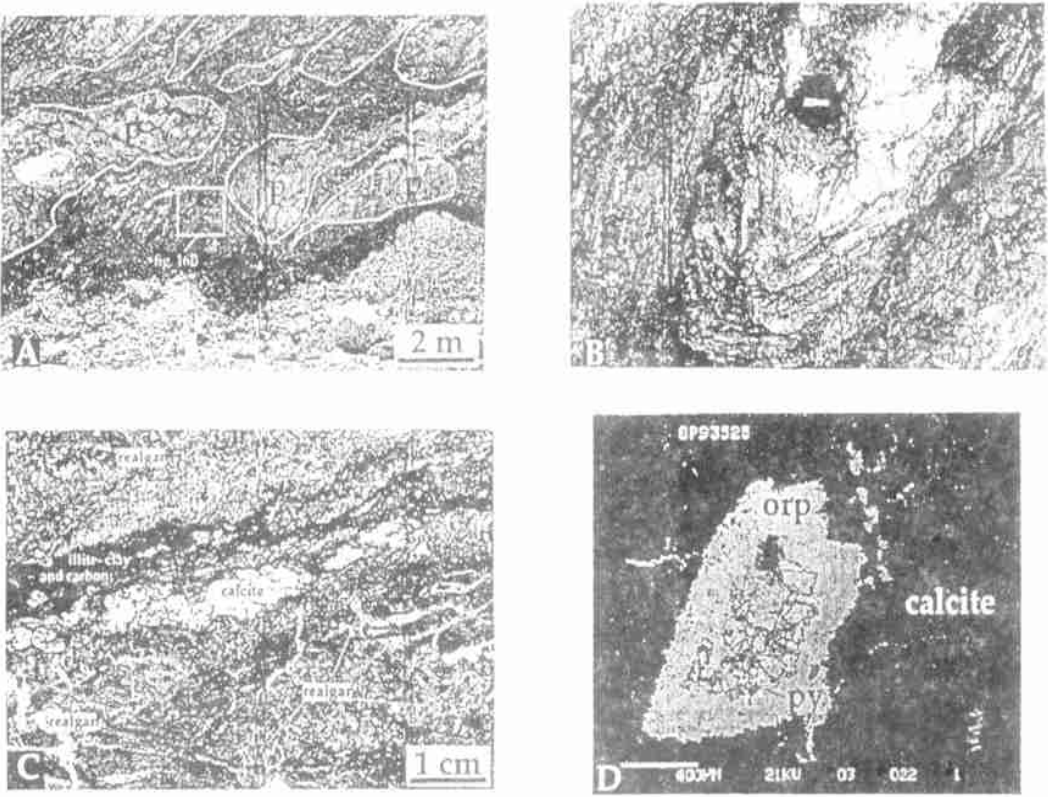


图 17 不同规模的含雄黄-雌黄矿石的结构及形态

Fig. 17 Textures and morphology of realgar and orpiment-bearing ore at different scales.

- (A) 含金千糜状岩石被雄黄、雌黄充填, 周围为无矿化的豆荚状大理岩(P);
- (B) 含雄黄-雌黄矿石的褶皱封闭;
- (C) 含伊利石-粘土、石英、雄黄的碳质千糜岩被雌黄细脉穿切;
- (D) 包在雌黄晶体中的低碲黄铁矿(小亮点)的扫描电镜散射图象。

呈自形和半自形晶的低碲和高碲两种黄铁矿产出。局部也出现有粗粒的自形晶黄铁矿。黄铁矿和少量的辉锑矿还呈包体出现在雌黄的晶洞中(图 17D)。

石英以蓝—灰色、浑圆的厘米级硅质角岩角砾碎块产在雌黄、雄黄和方解石组成的基质中,在局部的硅质角砾岩中以微晶基质和细粒晶体产在毫米级的细脉中。方解石以白色粗粒的自形—半自形晶体呈细脉及基质充填形式产出,可能占矿石体积的 10%。方解石明显的穿切雄黄细脉和块体。含雄黄-雌黄的富矿体局部含有早于金、与闪长岩同期的白钨矿,它们呈包体产于雌黄中,在靠近闪长岩接触带的局部地段还有细粒的磷灰石、锑和铈富集(表 3)。但锑、铈矿物少见,因为它们可能经历了雄黄和雌黄的叠加,或者是由于它们在雄黄和雌黄矿物结构中富集的缘故(Radtke 和 Others, 1973, 1974)。

3.4 含辉锑矿的硅质富矿体

含辉锑矿的硅质富矿体(Peters 所指的硅质角砾岩体, 1996, 1997a)是走向长1 000 m 的矿体中局部产出的拱形、均匀、坚硬的暗—灰色矿石(图 6A, 11, 12)。这种矿石的 $w(\text{Au})$ 含量一般 $< 3.2 \times 10^{-6}$, 加之大部分富砷黄铁矿局限在成矿前硅质碎屑中, 表明这种富矿体可能叠加在伊利石-粘土-黄铁矿矿石之上。矿体的西北端含有不连续的含辉锑矿硅质角砾岩的面积大约是70 m $\times$ 200 m。西边和顶部被含雄黄-雌黄的矿石包围(图 6B)。含辉锑矿的硅质角砾岩西边与闪长岩接触, 西北边与脱钙的、具粘土蚀变的灰岩接触, 东边与由DDZ 带含碳质的剪切部分隔断的灰岩透镜块体接触。这种富矿体的拱起形状基本上与贝茨背斜(图 11, 12, 6A)的层理一致。另外两个含辉锑矿的硅质富矿体产在中上部贝茨金矿的中部和东南部的DDZ 带中或其附近(图 6B)。

含辉锑矿硅质富矿体的结构与裂纹角砾岩及硅化的坍塌角砾岩相似, 既有坚硬、致密的硅化带, 也含有不规则的0.1~10 cm 宽的空洞和直径为0.2~5 cm 的棱角状(部分浑圆状)碎屑组成的孔隙带。二氧化硅占这种岩石重量的70%以上, 包括有几种类型的石英:(1)块状云雾状、白色、褐黄色或灰色的微晶基质石英、碎屑交代石英, 可能与硅质接触变质或交代变质作用有关;(2)0.5~1.5 cm 厚的隐晶石英细脉和含有黄铁矿的空洞充填石英;(3)自形的、纯净的梳状石英细脉, 含有辉锑矿、重晶石及一些黄铁矿;(4)含有白铁矿的晚期石英细脉。角砾岩化作用通常使接触变质的微晶石英碎块和早期的石英-黄铁矿细脉碎裂。

在被成金晚期的辉锑矿-石英细脉切割的石英细脉中, 黄铁矿呈浸染状的0.01~0.3 mm 粒级的富砷黄铁矿产出, 还以与重晶石-辉锑矿-石英同时形成的自形—他形晶低砷黄铁矿产出。低砷黄铁矿还以包体的形式产在辉锑矿里。一些黄铁矿具富锑和砷的环带及一个富砷的内核。低砷黄铁矿也呈包体产于辉锑矿中。辉锑矿在一些近于水平的、30 m $\times$ 10 m 的带状含辉锑矿硅质富矿体上部10 m 范围内最发育。辉锑矿、方解石和重晶石呈粗颗粒晶体生长在角砾碎块之间的晶洞中, 还呈条纹状、针状自形晶产于裂隙壁上。辉锑矿在致密的硅质中既占据碎屑的位置, 也占据了基质的位置。辉锑矿呈毫米—厘米级不规则块体产于纯净的石英细脉中, 或呈微米级的包体产在黄铁矿中, 还以自形黄铁矿晶体上的厚膜或生长晶产出。硫锑铅矿($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$)和闪锌矿通常以10 μm 级的包体产在辉锑矿里。面状的白铁矿-石英细脉贯穿硅质辉锑矿阶段。从地球化学上看这种矿石Sb, As 富集, Hg, Tl, Ba 和Zn 中等富集(表3)。含辉锑矿硅质富矿体在空间上是与雄黄-雌黄富矿体隔开的, 看不到彼此之间的穿插关系, 这种现象表明它们可能是晚期分带的产物, 大致上是同时形成的。

3.4 多金属富矿体

多金属富矿体(Peters 所指的含硫化物角砾岩透镜体, 1996, 1997a)沿闪长岩接触带产出金品位较高。这种矿体呈黑—暗灰色、坚硬、不规则状, 10 m $\times$ 30 m 大小的透镜体和硅质角砾岩体, 由陡倾、狭窄的千糜岩断层定位, 含有伊利石-粘土蚀变、脱钙的灰岩和硅质角砾的碎块(图 16)。这种透镜体位于上部的含雄黄-雌黄富矿体及下部的含辉锑矿硅质富矿体之间, 并对它们都有叠加, 还穿插早期的伊利石-粘土矿石(图 6B, 11, 12; 表2)。这种矿石类型的 $w(\text{Au})$ 品位较高, 大约为 5×10^{-6} , 原因是氧化的微晶洞中产有自然金且硫化物的含量高。雄黄、雌黄和辉锑矿基本消失, 多金属矿石与和闪长岩侵位有关的前成金期的贱金属产状截然不同, 并且

明显的穿插早期的金矿化岩石。

多金属富矿体有较多 $10\sim 100\ \mu\text{m}$ 大小的成金晚期的硫化物集合体。这些集合体含有与黄铁矿有关的 Hg, As, Cu, Sb, Zn 和 Ag。但这些集合体的地球化学表现比较弱(表 3)。最常见的硫化物集合体由黄铁矿、富汞的闪锌矿, 黄铜矿和辰砂组成。

不同矿物和元素出现在闪长岩接触带附近, 生成在晚期, 这些都是多金属富矿体的主要特征。这些富矿体含有贝茨金矿床的主要汞矿物, 可能与 Radtke 等(1972 a, b)发现的卡林金矿床中的汞矿石类似。辰砂产在雄黄晶体之间, 以 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 颗粒呈表皮状产在黄铁矿-黄铜矿矿物集合体之上(图 18A, B)。黄铜矿通常呈浸染状的、直径 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 的自形一半自形的颗粒与伊利石-石英微细脉共生。黄铁矿在微型角砾岩中呈他形晶, 参差不齐的 $10\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 大小的颗粒产在石英和磷灰石碎屑之间。富砷的 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 直径的自形黄铁矿含有毫米级的辰砂、萤石、方铅矿和闪锌矿的包体。一些黄铁矿含有 Pb, Hg 和富 Cu 的生长边(图 18C), Ni 和 Fe 的氧化物矿物, Cu, Hg, Se 矿物及自然金。在角砾岩体的部分地段浸染有大量的含辰砂包体的直径 $5\sim 20\ \mu\text{m}$ 的浑圆状磷酸盐矿物。Ti 氧化物矿物很多, 局部地方出现微米级的 Cd 和 Te 矿物。从地球化学上看这种矿石富 Ba, Cu, Hg, Zn 和 Ag, As 中等富集(表 3)。

4 讨论与结论

正如 Bateman(1992)论述的那样, 贝茨金矿中富矿体的控制因素和成因的精确特征, 都还未解决。但富矿体的详细地质解释、彼此特征的对比及其与主矿体的对比可以使人了解富矿体及整个矿体是如何形成的。脉石矿物和矿石矿物之间的结构关系, 围岩蚀变组合及矿化岩石的分带特征可以指示矿液与围岩岩石在成矿过程中的反应(Ferdock 等 1997; Woitsethowskaya 和 Peters 1998)。因此, 矿体中矿物组成明显不同的富矿体在空间上的分带可能与矿液演化期间出现的地质事件有关, 矿液和地质事件一起可以代表成矿过程。贝茨金矿有大量野外和室内证据, 表明变形期间有含金流体的进入。流体和定位变形事件在上地壳的相互作用也不是不可能的(一些研究者已发表了这方面的文章, 如 McClay 1997; Henky 1973; Henley 和 Etheridge 1994; Hickman 等, 1994; Logan 和 Decker, 1994)。这些事件通常被认为是深部地壳流体-变形相互作用的延续(Fyfe 等 1978; Ethridge 等 1983; O'Hara 1998; Hyndman 1994)。贝茨金矿很可能形成于晚侏罗纪之后的一个伴随大量流体流动的构造事件(D₃, 表 1)期间。断层作用, 剪切作用, 断层泥(沿不甚坚硬的伊利石-粘土蚀变带和脱钙带发育)和紧随其后的热液蚀变进一步增加孔隙度, 并且由于 DDZ 带中流体流量的加大, 还可能形成水压裂隙(Byerlee 和 Brace 1972; Phillips 1972, 1986; Engelder 1974)。温度和压力的波动也引起整个 DDZ 带中流体化学的变化。

矿体的矿石结构表明矿石是在流体压力增加的动态环境条件下形成的。伊利石-粘土-黄铁矿富矿体含有沿层理面和千糜岩带分布的富砷黄铁矿和石英脉石矿物。脉和细脉少见, 而且较浅、低压环境(Bodnar and others 1985; Berger and bethke 1985)的证据通常缺乏。纤维结构和细脉的尖灭(这种现象在含雄黄-雌黄富矿体中局部出现)是韧-脆环境深部变流体压力条件

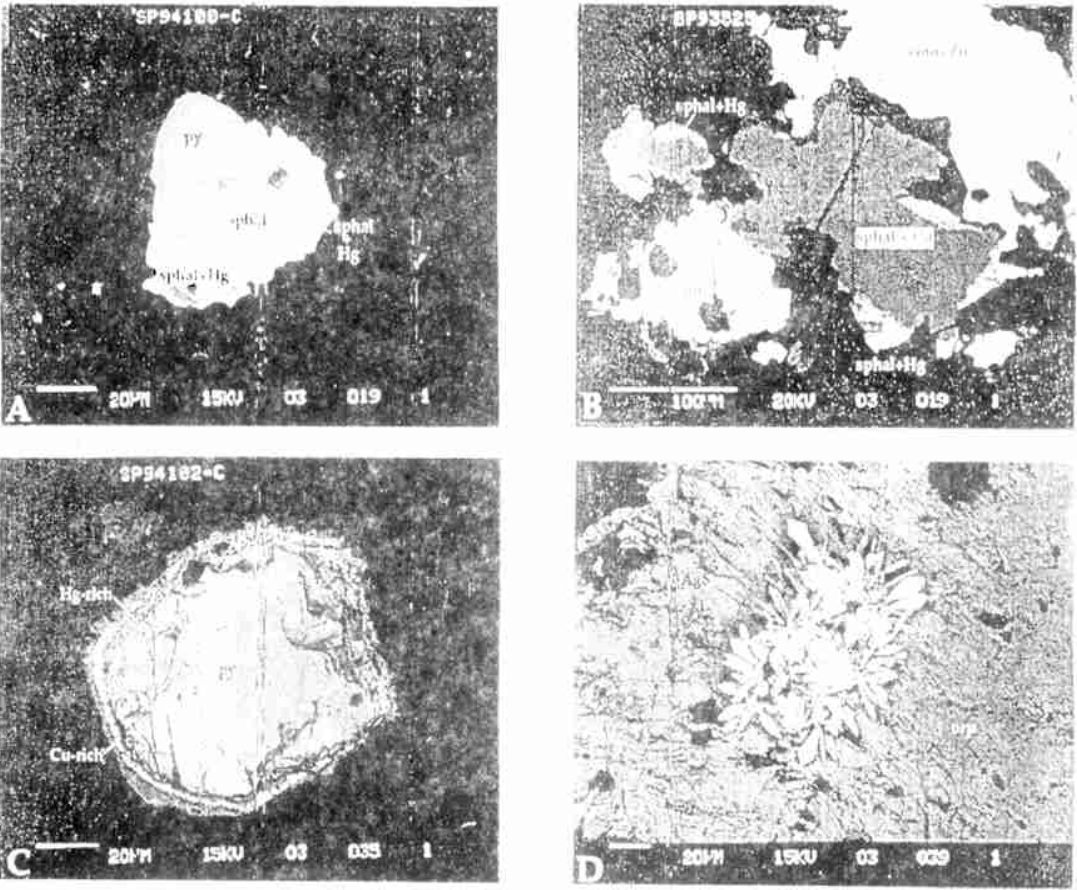


图 18 千糜状角砾岩矿石中典型的硫化物矿物扫描电镜散射图象

Fig. 18 Scanning electron microscope back scatter images of typical sulfide minerals in polymetallic breccia ore

- (A) 闪锌矿、富汞闪锌矿、黄铁矿、富锌辰砂和方铅矿的复合颗粒, 周围为微粒富砷黄铁矿;
- (B) 富铜闪锌矿、辰砂和黄铁矿复合颗粒;
- (C) 具有黄铜矿和辰砂生长边的黄铁矿颗粒;
- (D) 雄黄晶洞中的银硫化物, 可能由于光片的氧化作用而结晶。

下形成裂隙封闭的特征。富矿体含有挤压和角砾岩化围岩, 断层泥、千糜岩、伊利石-粘土层和蚀变围岩的复杂碎裂混合结构, 或被这些东西隔开, 表明它是一个复杂的动态成矿系统。沿 DDZ 通道富矿体间的结构变化说明矿液中出现了随变形和扩张而产生的温度与压力的波动。

矿体蚀变分带的形式构成了一个大的带, 其中位于高品位富矿体或其附近与金有关的伊利石-粘土和硅化蚀变的中心部位为热液流体高度集中的地方, 高品位富矿体周围为脱钙和弱伊利石-粘土蚀变的低品位蚀变矿化带。蚀变带局限在未蚀变大理岩的钙硅酸岩透镜体周围狭窄的富伊利石-粘土的断层泥中, 意味着流体选择性的在 DDZ 带中的透水变形带里流动。交错复杂的伊利石-粘土蚀变和硅化蚀变层可能由下述不同的原因造成: (1) 不同的、分开的热液事

件; (2) 多种流体的混合; (3) 由水-岩反应而产生的单一流体的演化; (4) 很可能的是: 流体的运动、热液蚀变和矿化明显受岩性或变形组结构的控制。

贝茨金矿床中金的沉淀是由水-岩的反应引起的, 始于脱磷酸盐化蚀变作用, 其导致了孔隙度和透水性的增加。蚀变从新鲜、未蚀变岩石的脱磷酸盐化开始, 然后是泥化, 最后是硅化。金的主要沉淀阶段包括铁的硫化物和砷的沉淀, 从伊利石沉淀向高岭石沉淀的转变, 伴随有脉动的石英沉淀。这些事件伴随有千糜岩、断层泥的发育, 溶解-坍塌和构造角砾化作用。

成矿前的变形组结构或结构, 如宽缓褶皱, 沉积和坍塌角砾岩的形成都可以看作是构造的基础, 而成矿期的变形结构, 如千糜岩的发育的中型的剪切褶皱是由通道岩石与流体的相互反应形成的。这与 Poulsen 和 Robert (1989) 提出富矿体的动力成矿作用相似。富矿体结构形成的基础阶段是: 成矿前的变形 (D_1 – D_2 ; 表 1), 脱钙和 DDZ 带中剪切岩石的化学作用, 及形成复杂的矿石沉淀空间的成矿期和成矿后的剪切、剪切褶皱和断层作用。同变形剪切褶皱和演化的流体及产生的共生矿物的相互作用形成了不同富矿体类型及周围矿石的分布与分带。

贝茨金矿上部伊利石-粘土蚀变带对富矿体的形成与分布起了重要的作用。许多伊利石-粘土-黄铁矿矿石含有伴随紧闭的与 DDZ 带平行的中型褶皱的千糜岩层和角砾, 表明变形与蚀变、矿化同时或紧随其后。千糜岩、断层泥带和未变形的蚀变沉积层和透镜体中伊利石相同的结晶指数表明这些岩石可能都是在相同的 P - T 条件下蚀变的, 这也与变形期间围岩和热液流体的相互反应一致。很可能是这些剪切带中的水化矿物加剧了剪切作用的发生。泥化可能也通过释放和吸收卤水对流体的演化发生了影响; 面状的伊利石-粘土千糜岩带可能形成了影响流体通道的局部压力封闭 (Wang 和 Mao 1979; Wang 等 1979; Moore 等 1989)。

虽然贝茨金矿和 DDZ 带所在的 NWW 走向变形带内显示有局部平移错动, 但是其中主要的错距和剪切方向的证据仍不清楚。该强烈变形带内没有大的平移错动, 表明该带在其厚度和错动之间不存在直接的相关关系 (Robertson 1983; Hull 1988; Walsh 和 Watterson 1988, 1989)。这意味着变形及伴随的热液蚀变和矿化局限在 Goldstrike 岩株附近的有限的岩石中, 还意味着褶皱和剪切作用伴随有受强烈破坏的岩石中的溶解、坍塌和角砾岩化作用。

岩性接触带影响富矿体的形成与分布。许多富矿体都产在 Rodeo Creek 岩段和 Popovich 灰岩及 Popovich 灰岩和 Goldstrike 闪长岩之间接触带的两侧。伊利石-粘土-黄铁矿富矿体、含雄黄-雌黄富矿体、含辉锑矿硅质富矿体的倾伏和 DDZ 带与上述岩性接触带的交切一致。这与 Reid 等 (1975) 和 Treagus (1988) 所论述的岩性控制相似。在空间上, DDZ 带和 Peters 向斜交切带与含金红石的富矿体有关, 并且富矿体的倾状与这些构造交切带一致。DDZ 带使原先变形的 Peters 向斜格架 (D_1 或 D_2 ?) 再变形与旋转, 并导致了孔隙度和裂隙的增加, 从而为矿液提供了通道。

据推测 DDZ 带的透水性和分解与 Brace (1980), Bell (1981), Logan and Decker (1994), Scholz 和 Anders (1994) 在文献论述的一般的剪切带相似。剪切带中的孔隙网通常形成沿剪切带分布的裂隙或管状体。这些孔隙网可部分地以贝茨金矿中富矿体的几何形态表示。DDZ 带中矿化期间的次级断层也可能产生富矿体定位的张力场, 因为复杂的几何形态和转弯处的多次运动能够产生局部的张性应力 (Lajtai 1969; Gamond 1987)。这可以使整个断层网中形成流体压力和应力的梯度, 特别在主要是钙硅酸岩中坚硬的含辉锑矿硅质富矿体里尤其如此, 增加

了透水性,使断层网的多个部分互相连通起来,提高通过角砾的不同成分流体的导流能力。

水-岩反应影响沿 DDZ 带流动的流体之流量及流体化学组成,形成钙质、硅质、碳质岩石和闪长岩岩性之间的化学梯度,进而在流体上升通过岩石之间的接触带时,在流体中产生化学变化(Fyfe 和 Kerrich 1984)。当流体流进附近的岩石时各富矿体周围发生化学反应及 pH 和温度的变化。流体进入不同的渗透构造带和不同的围岩后,被分隔成多个流体囊。由于围岩反应不同,局部的温、压条件也不一样,这些流体各自进行独立的演化。

根据 Woitsekhowskaya 和 Peters(1998)的地球化学模式,金的沉淀和脱碳酸盐作用是由矿液和围岩随着温度和岩石与流体的比值发生微小变化产生的水-岩反应而出现的。这种模式指出化学反应伴随有应变,包括(1)成岩粘土矿物的分解;(2)硅质的淋滤及固着;(3)碳酸盐的分解。在应变条件下产生的水-岩反应首先导致岩石体积的减少和早期高岭石+黄铁矿+石墨的形成和晚期伊利石-粘土-黄铁矿矿物系列的形成,进而使岩石块体弱化,为千糜岩的形成和发育提供有利的条件。反应时较低的 pH 值和伴随的分解作用形成的含水相,其 Si/Al 比值高于正在分解的围岩,并且含水的 SiO₂ 浓度由于围岩中原生粘土矿物的分解而提高。这将最终导致以伊利石为主的粘土矿物的沉淀、分解和同时的石英沉淀,增强岩石块体的强度,原来在矿体的强化部分产生脆性的角砾岩化作用,在未硅化的富伊利石-粘土的部分产生断层泥。

矿化晚期阶段 Au、Fe、As 和 Sb 矿物的沉淀需要矿液在含水 SiO₂ 比较高的条件下与已形成的蚀变矿物反应(Woitsekhowskaya 和 Peters 1998)。硅质淋滤反应不能导致系统中石英的饱和,因为围岩比较贫硅。在富砷黄铁矿形成时,残留在流体中未被耗尽的金,也可沉淀在含雄黄-雌黄富矿体和含辉锑矿富矿体里,并伴随有石英对方解石的交代。当流体与蚀变围岩反应时 Au 和 As 一起从流体中耗尽。雄黄和雌黄在温度比较低时沉淀,辉锑矿最终由于硫的活性和温度的降低而沉淀。在含雄黄-雌黄富矿体和含辉锑矿硅质富矿体形成时淋滤反应不重要,并且矿化作用在化学上也不是破坏性的,使交代期末变形部位的结构得以保存下来。这些关系的地质显示是系统中变化的矿物溶解度和金属消耗之间的相互作用。晚期的自然金,汞,贱金属和银矿物沉淀在多金属富矿体里。富矿体分带表明时、空上的化学变化,使不同的矿物随着流体的演化和冷却而沉淀在不同的富矿体中。

矿石结构、断层泥、千糜状的剪切带岩石,蚀变形式及同位素和液相包体的资料(Hofstra 1997; Hofstra 和 Rye 1998)都表明弱-中度的含盐流体沿 DDZ 带上升、冷却并参与了该带的局部变形作用。该系统缺乏多处流体的证据,但后期的雨水可能流入了减弱、隆起、坍塌的系统中。DDZ 带的变化条件,如围岩反应和温、压的下降引起了流体的变化,并且使大部分金属沉淀。贝茨金矿的矿石和蚀变矿物沉淀场所的变化发生在矿石形成之前及含金流体与围岩的动态反应期间。所有这些作用都促成了富矿体的形成与分带。

致谢:

作者对巴利克 Goldstrike 矿山有限公司允许出版我们的研究成果表示感谢;Ferdock 也在此向美国地质调查所,巴利克 Goldstrike 矿山有限公司, Ralph J · Robert 经济地质研究中心, Mackay 矿业学院、内华达大学地学系资助其野外及实验室研究工作表示感谢;对巴利克 Goldstrike 矿权地 Keith H, Bettles, Eric A 和 Feff A 先生对我们工作的支持及所进行的探

讨表示感谢。部分粘土矿物的 X 光衍射分析由 Mackay 矿业学院的 Ali U cruum 完成, 另一部分由巴利克 Goldstrike 矿山实验室完成。扫描电镜显微照片由美国地调所(Menlo Park) 的 Robert L. Oscarson 拍摄。岩相学研究得到了 Mall J, Hibbard 和李治平的帮助。本文初稿由 How ard J, McCarthy Jr, David A, John, Dennis P, Cox and Ted G, Theodore 审查, 在此对他们一并致谢。

(李永明 译 黄佳展 校)

参考文献:

- [1] Arehart G B. Characteristics and origin of sediment-hosted gold deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, (11): 383-403.
- [2] Arehart G B, Eldridge C S, Chrysosoulis S L, *et al.* Ion microprobe determination of sulfur isotope variations in iron sulfides from the Post/Betze sediment-hosted gold deposit, Nevada, USA[J]. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1993, (57): 1505-1519.
- [3] Bakken B M, Hochella M R Jr, Marxhall A F, *et al.* High resolution microscopy of gold in unoxidized ore from the Carlin mine, Nevada[J]. *Economic Geology*, 1989, (84): 171-179.
- [4] Christensen, O. D., Carlin trend geologic overview, in Christensen, O. D., ed., *Gold Deposits of the Carlin Trend, Nevada* [J]. *Society of Economic Geologists Guidebook Series*. 1993, (18): 3-26
- [5] Christensen O D. Carlin trend geologic overview [A]. in Green, S. M., and Strusacker, E., eds., *Geology and ore deposits of the American Cordillera Road Trip B, Structural Geology of the Carlin Trend: Geological Society of Nevada Field Trip Guidebook Compendium*, 1995, Reno/ Sparks, Nevada [C]. 1996, 147-156.
- [6] Drews-Armitage S P, Romberger S B, Whitney C G, Clay alteration and gold deposition in the Genesis and Bluestar Deposits, Eureka County, Nevada [J]. *Economic Geology*, 1996, (91): 1383-1393
- [7] Engelder, J. T., Cataclasis and the generation of fault gouge [J]. *Geological Society America. Bulletin*, 1974, (85): 1515-1522
- [8] Etheridge M. A., Wall V J., Vernon R H. The role of the fluid phase during regional metamorphism and deformation [J]. *Journal Metamorphic Geology*, 1983, (1): 205-226.
- [9] Evans J G. Geology of the Rodeo Creek NE and Welches Canyon quadrangles, Eureka County, Nevada [J]. *U. S. Geological Survey Bulletin*, 1980, (1473), 81.
- [10] Ferdock, G. C., Castor, S. B., Leonardson, R. W., and Collins, T., Mineralogy and paragenesis of ore stage mineralization in the Betze gold deposit, Goldstrike Mine, Eureka County, Nevada [A]. in Vikre, Peter Thompson, T. B, Bettles, K., Christensen, Odin, and Parratt, R., eds., *Carlin-type Gold Deposits Field Conference, Economic Geology Guidebook Series* [C]. 1997, (28): 75-86
- [11] Fleet, M. E., Mumin, Hamid. Gold-bearing As-rich pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carin Trend gold deposits and laboratory studies [J]. *American Mineralogist*, 1997, (82): 182-187.
- [12] Hofstra, A. H. Isotopic composition of sulfur in Carlin-type gold deposits: implications for genetic models [A]. in Vikre, Peter, Thompson, T.B., Bettles, K., Christensen, Odin, and Parratt, R., eds., *Carintype Gold Deposits Field Conference, Economic Geology Guidebook Series* [C]. 1997, (28): 119-131.
- [13] Hofstra, A. H., Leventhal, J. S., Northrop, h. r. *et al.* Genesis of sediment-hosted disseminated-gold deposits by fluid mixing and sulfidization: chemical reaction-path modeling of ore-depositional processes documented in the Jerritt Canyon district [J]. *Nevada: Geology*, 1991, (19): 36-40.
- [14] Hofstra, A.H., Rye, R. O., δD and $\delta^{18}O$ data form Carlin-type gold deposits—Implications for genetic models

- [A]. in Tosdal, R. M., ed., Contributions to the Gold Metallogeny of Northern Nevada [C]. U. S. Geological Survey Open-File Report 98-338, 1998, 202-210.
- [15] Ilchick, R. P., Barton, M. D., An amagmatic origin of the Carlin-type gold deposits [J]. *Economic Geology*, 1997, 92, (3): 269-288.
- [16] Kuehn, C. A., Rose, A. W., Geology and geochemistry of wall rock alteration at the Carlin gold deposit, Nevada [J]. *Economic Geology*, 1992, (87): 1697-1721.
- [17] Kuehn, C. A., Rose, A. W., Carlin gold deposits, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and over pressured fluids [J]. *Economic Geology*, 1995, (90): 17-36.
- [18] Leonardson, R. W., Rahn, J. E., Geology of the Betze-Post gold deposits, Eureka County, Nevada [A]. in Coynner, A. R., and Fahey, eds., *Geology and Ore Deposits of the American Cordillera: Geological Society of Nevada, Symposium proceedings, Reno/Sparks, Nevada, April, 1995* [C]. 1996, 61-94.
- [19] Madrid, R. J., Roole, F. G., Wrucke, C. T., 1992, Rocks of the Antler orogen—The Roberts Mountain allochthon [A]. in Burchfiel, B. C., Lipman, P. W., and Zoback, M. L., eds., *The Cordilleran Orogen Conterminous us: Geological Society of America, The Geology of North America*, [C]. 1992(G-3): 28-34.
- [20] Peters, S. G., Formation of oreshoots in mesothermal gold-quartz vein deposits [J]. in Haynes, S. J., (ed.), *Vein-type ore deposits, Special Vol., Ore Geology Reviews*, 1993, (8): 277-301.
- [21] Peters, S. G., Nomenclature, concepts and classification of oreshoots in vein deposits [J]. *Ore Geology Reviews*, 1993, (8): 3-22.
- [22] Peters, S. G., Definition of the Carlin trend using orientation of fold axes and applications to ore control and zoning in the central Betze orebody, Betze-Post Mine [A]. in Green, S. M., and Struhsacker, E., eds., *Geology and ore deposits of the American Cordillera, Trip B—Structural Geology of the Carlin Trend Geological Society of Nevada Field Trip Guide Compendium*, 1995, Reno/Sparks, NV, [C]. 1996, 203-239.
- [23] Peters, S. G., Evidence for the Crescent Valley-Independence Lineament, north-central, Nevada [R]. in Tosdal, R. M., ed., *Contributions to the Gold Metallogeny of Northern Nevada: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-338*, 1998, 106-118.
- [24] Peters, S. G., Leonardson, R. W., Ferdock, G. C., *et al.* Breccia types in the Betze orebody, Goldstrike Mine, Eureka County, Nevada [J]. in Vikre, Peter, Thompson, T. B., Bettles, K., Christensen, Odin, and Parratt, R., eds., *Carlin-type Gold Deposits Field Conference: Society Economic Geology Guidebook Series*, 1997, (28): 87-100.
- [25] Radtke, A. S., Geology of the Carlin gold deposit, Nevada [R]. U. S. Geological Survey Professional Paper 1267, 1985, 124.
- [26] Ramsay, J. G. Shear zone geometry [J]. *Journal Structural Geology*, 1980, (2): 83-99.
- [27] Roberts, R. J., Alignment of mining districts in north-central Nevada [R]. U.S. Geological Survey Professional Paper 400—B. 1960, 17-19
- [28] Roberts, R. J., Metallogenic provinces and mineral belts in Nevada [R]. Nevada Bureau of Mines, Report 13, pt. A, 1966, 47-72.
- [29] Roberts, R. J., Hotz, P. E., Gilluly, J., *et al.* Paleozoic rocks of north-central Nevada [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1958, 42, (12): 2813-2857.
- [30] Robertson, E. C. Relationship of fault displacement to gouge and breccia thickness [J]. *Mining Engineering*, 1983, (35): 1426-1432.
- [31] Stewart, J. H., Carlson, J. E. Geologic map of north-central Nevada [A]. Nevada Bureau of Mines and Geology, Map 50, (1: 250 000) [C]. 1976.
- [32] Teal, Lewis, and Jackson, Mac, 1997, Geologic overview of the recent deep discoveries [A]. in Vikre, Peter, Thompson, T. B., Bettles, K., Christensen, Odin, and Parratt, R., eds., *Carlin-type Gold Deposits Field Conference: Society Economic Geology Guidebook Series* [C]. 1997, (28): 3-38
- [33] Tosdal, R. M., ed. Contributions to the Gold Metallogeny of Northern Nevada [R]. U. S. Geological Survey Open-

File Report 98-338, 1998, 290.

- [34] Volk, J. A., Lauha, E., and Eureka Counties [A]. in Green, Structural geology of the Betze-Post and Meikle deposits, Elko and Eureka Cordillera, Trip B-Structural Geology of the Carlin Trend, Field Trip Guidebook Compendium, 1995: Geological Society of Nevada, Reno/Sparks, NV, [C]. 1996, 180-194.
- [35] Woitsekhowskaya, M., Peters, S. G., Geochemical modeling of alteration and gold deposition in the Betze deposit [R]. in Tosdal, R. M., ed., Contributions to the Gold Metallogeny of Northern Nevada: U.S. Geological Survey Openfile Report 9838. 1998, 211-22.

ORESHOOT ZONING IN THE CARLIN-TYPE BETZE OREBODY, GOLDSTRIKE MINE, EUREKA COUNTY, NEVADA

Stephen G. Peters¹, Gregory C. Ferdock²,
Maria B. Woitsekhowskaya¹, Robert Leonardson³, Jerry Rahn³

(1. U.S. Geological Survey, Reno Nevada 89557-0047, U.S.;

2. Mackay School of Mines, University of Nevada, Reno Nevada 89557-0047, U.S.;

3. Barrick Goldstrike Mines, Inc., Elko Nevada 89803, U.S.)

Abstract: The giant Betze gold ore body, the largest Carlin type deposit known in the north-central Carlin trend, Nevada is composed of individual high grade oreshoots that contain different geologic, mineralogic and textural characteristics. The orebody is typical of many structurally controlled Carlin type deposits, and is hosted in thin-bedded, impure carbonate or limy siltstone, breccia bodies, and intrusive or calc-silicate rock. Most ores in the Betze orebody are highly sheared and brecciated and show evidence of syndeformational hydrothermal deposition. Hydrothermal alteration is scale dependent, either in broad, pervasive alteration patterns or in areas related to various oreshoots. Alteration includes decarbonitization(~decalcification) of carbonate units, argillization(illite clay), and silicification. Patterns of alteration zoning in and surrounding the Betze orebody define a large porous dilated volume of rock where high fluid flow predominated. Local restriction of alteration to narrow illite- and clay-rich selvages around unaltered marble of calc-silicate rock phacoids implies that fluid flow favored permeable structures and deformed zones. Gold mainly present as disseminated sub-micron-sized particles, commonly associated with As-rich pyrite although one type of oreshoot contains micron-size free gold. Oreshoots form a three dimensional zoning pattern in the orebody within a WNW-striking structural zone of shearing and shear folding, termed the Dillon deformation zone(DDN). Main types of oreshoots are; (1) rutile-bearing siliceous oreshoots; (2) illite-clay-pyrite oreshoots; (3) realgar-and orpiment-bearing oreshoots; (4) stibnite-bearing siliceous oreshoots; (5) polymetallic oreshoots. Ore textures,

gouge, phylloitic rock, alteration style and previously documented isotopic and fluid inclusion data, all indicate a weakly to moderately saline fluid that ascended and cooled during structural displacement. Carlin-type deposits are characterized by relatively uniform, low gold grades. However, recent open pit exposures in deep hypogene parts of the Betze ore-body and other gold deposits in the Carlin trend suggest that some orebodies are composed of distinct high-grade oreshoots that are zoned complexly in three dimensions.

Key words: Carlin type gold deposits; syndeformation; oreshoot zoning; Nevada; U. S.

(上接第 114 页)

ten times the price of raw kaolinite ore from China. China should pay more attention to the refined products, the researches on ore-dressing technology and the modification of the surficial property of the clay minerals. Tianjin is the economic center and main port in north China where products and raw ores of the minerals are concentrated in and diffused from. Tianjin should exert the superiority and makes all out to develop the first class products of the minerals thus becomes a base of the calcined and sophisticated products of bauxite and kaolinite for industrial, scientific research and trade in the world.

Key words: kaolinite; bauxite; the calcined material; refine; base of industrial and scientific research and trade

我国西北地区矿产资源价值 33 万亿元

我国的西北地区蕴藏着丰富的矿产资源,包括煤炭、油气、镍、铜、铅、锌、金、钾盐等。据勘查,西北地区的煤炭保有储量达 3 009 亿 t,占全国总量的 30% 左右,主要分布在陕西、新疆和宁夏;石油储量为 5.1 亿 t,占全国陆上石油总储量的 23% 左右,主要分布于鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、吐鲁番-哈密盆地和柴达木盆地;天然气储量为 4 354 亿 m³,占全国陆上总储气量的 58%,主要分布在鄂尔多斯盆地和塔里木盆地;全国镍的总储量中有 57% 产于甘肃省;而中国钾盐总量的 97% 集中在青海省。据中国国土资源部的统计,西北地区矿产资源的潜在价值为 337 000 亿元,开发潜力极大。

我国海域发现天然气水合物

我国地质工作者在中国南海西沙海槽区开展的天然气水合物前期调查中,发现了多处存在天然气水合物的可靠证据。这是在我国海域首次发现和证实天然气水合物这一新的矿产资源的存在。天然气水合物是 20 世纪发现的一种新的矿产资源,产出的天然气能够满足能源、经济、环境和效率的需要,被称为 21 世纪具有商业开发前景的战略资源,是新世纪的理想替代能源。我国的石油资源战略后备严重不足,这一资源的发现将对我国国民经济的可持续发展提供很重要的能源基础。目前,中国地质调查局已将这一资源的调查列入国土资源大调查项目之一。