

甘肃文县筏子坝别子型铜锌矿床的稳定同位素地球化学特征*

宋学信 郭月敏 徐庆生

李锁成

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京) (甘肃省地质矿产局第一地质队, 天水市)

提 要: 筏子坝铜锌矿床系近年在碧口群火山-沉积岩系中发现的我国首例别子型矿床。我们的研究表明, 筏子坝矿区黄铁矿的硫、铅同位素组成与世界别子型矿床相似, 硫为典型的幔源硫, 铅为壳-幔混合铅。该矿区磁铁石英岩中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高且变化范围不大 ($14.1\text{‰} \sim 15.7\text{‰}$), 说明其属陆缘碎屑沉积成因。筏子坝矿区磁铁石英岩与华北元古宙石英岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值相似 ($0.0\text{‰} \sim 0.4\text{‰}$), 亦说明其属碎屑沉积变质成因。

关键词: 筏子坝 别子型铜锌矿床 稳定同位素

筏子坝铜矿位于甘肃陇南文县碧口镇北西约 9 km 处, 座落于让水河和白龙江交汇处的崇山峻岭之中。其大地构造位置为秦岭褶皱系西秦岭南缘摩天岭褶皱带。从板块构造观点看, 其属于扬子板块西北缘与俯冲作用有关的构造体制。

铜矿体赋存于中新元古代碧口群变质火山-沉积岩系的阳坝组地层中。矿区内出露地层属阳坝组下部层位, 由绿色中浅变质火山岩和浅色中浅变质细碎屑岩相间组成。在绿色和浅色岩系之间常有绿泥石石英岩和磁铁石英岩发育。矿体和矿化体常与含绿泥石石英岩和磁铁石英岩相伴, 或者后者本身即为矿化体或矿体。

筏子坝铜矿区矿化带呈近东西向延伸, 长大于 3000 m, 宽 5~60 m。矿体主要呈似层状和透镜状, 常具尖灭再现和尖灭侧现现象。矿体有延深大于延长的特点, 例如 I 号矿体地表出露长度 300 m, 延深现已控制近 400 m, 估计延深能达 500 m 以上。矿石类型可分为块状黄铁黄铜矿石、含铜磁铁石英岩和条带状黄铁黄铜矿石和含铜绿色片岩。其中以前两种为主, 并最具工业意义; 第三种实为第一、二种的过渡类型, 亦较常见; 第四种常为前两种矿石的顶底板或夹层。主要矿石矿物为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿和闪锌矿, 其次为赤(镜)铁矿和黝铜矿。主要脉石矿物为石英、绿泥石、绢云母、绿帘石和碳酸盐。矿石的元素组合为 Cu-Zn-(Au)-(Ag)-Co。矿床铜平均含量为 2.68%, 最高达 18.46%。伴生有用元素 Zn、Au、Ag、Co 等, 可综合利用。

矿床类型属火山成因块状硫化物(VMS)矿床的别子型(Besshi type)铜锌矿床。

筏子坝铜锌矿床的稳定同位素研究, 以往尚属空白, 这次我们对该矿床的硫、氧、硅和铅同位素进行了“踏勘性”研究。

1 硫同位素

此次研究, 我们只对筏子坝矿床的 6 件黄铁矿单矿物样品进行了测定。此外, 我们还收

* 地质矿产部定向科研项目(地科定 95-15)成果之一部分

集了碧口群中黑矿型矿床（刘家坪铜锌黄铁矿床、二里坝含铜黄铁矿床、红土石铜锌黄铁矿床、东沟坝铅锌金银矿床）和其他别子型矿床（例如阳坝铜（钴）矿床），以及国外某些别子型矿床（例如：日本别子矿床、芬兰 Outokumpu 矿床等）的硫同位素数据，详见表 1。

表 1 筏子坝及碧口群中相似或相关矿床黄铁矿硫同位素组成

矿床名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}/\text{‰}$		资料来源
	变化范围	平均值	
1. 文县筏子坝 Cu-Zn 黄铁矿床	-1.7~1.8	0.7 (6) ^①	本研究
2. 康县阳坝 Cu (Co) 黄铁矿床 ^②		2.0 (1)	成都地院等, 1989 (未刊)
3. 宁强刘家坪 Cu-Zn 黄铁矿床		9.8 (1)	西北有色地研所, 1986 (未刊)
4. 宁强二里坝含铜黄铁矿床	5.4~8.0	6.9 (10)	陕西地矿二队, 1984 (未刊)
5. 略阳红土石 Cu-Zn 黄铁矿床	7.9~10.3	9.7 (14)	同上
6. 略阳东沟坝 Pb Zn Au Ag 矿床	5.8~13.6	8.2(1.2)	同上
7. 日本别子矿床	1~2(3)		格里年科等, 1980
8. 芬兰 Outokumpu 矿床	-1.5~3.5(8)		同上

① 括号内数字为样品数；② 阳坝矿床 8 件黄铜矿样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -3.91‰~6.7‰ (平均为 -0.06‰)，据成都地院等, 1989

从表 1 可看出, 筏子坝矿床黄铁矿的硫同位素成分变化较小, 平均值为 0.7‰, 说明其硫源单一和均一化程度很高, 可能为地幔来源。阳坝矿床黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值(2.0‰)与筏子坝矿床的相近, 虽然其黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围稍大些, 但其平均值亦接近“零”值(-0.6‰), 这说明阳坝矿床无论在先期的黄铁矿成矿阶段, 还是在后期的黄铜矿成矿阶段, 硫源都是比较单一和均一化程度较高的, 主要来源于地幔, 其它类型的硫(例如地层硫)混入很少。至于属于黑矿型的刘家坪、二里坝、红土石和东沟坝矿床, 其黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为中-低的正值, 变化范围不大, 平均值亦比较接近, 说明它们的硫同位素均一化程度较高, 为某种混合硫源。这种混合硫很可能是以地幔硫为主, 以地层硫为辅。

而日本的别子和芬兰的 Outokumpu 等典型的别子型铜(锌)矿床的硫同素组成特征与筏子坝相似, 亦为幔源硫。格里年科等(1980, 中译本)在论述 Outokumpu 等前寒武纪硫化物矿床时亦曾指出: “合理的推测应该是前寒武纪黄铁矿类硫化物矿石的硫同位素组成与陨石接近而且经过了均一化作用, 这证实了它们的硫源是深部的高温的”。

2 氧同位素

我们研究了筏子坝矿床分别从磁铁石英岩和石英脉分选出的 4 个石英单矿物的氧同位素组成, 并且力所能及地收集到其他研究者对阳坝、刘家坪等矿床石英单矿物样品测定的结果(详见表 2)。

由表 2 可以看出:

(1) 筏子坝磁铁石英岩石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高, 且变化范围不大(14.1‰~15.7‰), 并与脉石英相近, 这一方面说明本区磁铁石英岩的石英属陆缘碎屑沉积成因, 另一方面说明这里的石英脉可能是侧分泌形成的, 即来源于磁铁石英岩并继承了它的氧同位素特点;

(2) 阳坝矿床磁铁石英岩和绢云石英片岩的石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(14.9‰~15.6‰)与筏子坝

的非常接近,说明两个矿床的磁铁石英岩成因和物质来源的相似性;

表 2 筏子坝及阳坝、刘家坪等矿床石英单矿物样品氧同位素组成

矿床名称	样品编号	岩石类型	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	资料来源
筏子坝 CuZn 黄铁矿床	F ₁ -2	磁铁石英岩	14.2	本研究
	F ₂ -11-1	磁铁石英岩	15.7	本研究
	F ₂ -15	磁铁石英岩	15.4	本研究
	F ₂ -23	石英脉	15.0	本研究
阳坝 Cu(Co)黄铁矿床	1b-105-3	绢云石英片岩	15.6	成都地院等,1989(未刊)
	ID-5-3	磁铁石英岩	14.9	
刘家坪 CuZn 黄铁矿床	940-4	石英脉	8.5	西北有色地研所,1986(未刊)
白云鄂博 Fe-REE 矿床	91B68	层状铁矿石	15.9	魏菊英等,1994
东升庙 ZnPb 黄铁矿床	D-5	石英岩	14.2	丁梯平等,1992

(3) 刘家坪矿床脉石英具有很低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(8.5‰),这不仅与筏子坝和阳坝磁铁石英岩及绢云石英片岩的石英不同,而且与筏子坝矿床的脉石英截然不同,由此可见它实际上是一种火成的石英(一般酸性火成岩石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 7‰~13‰)。这一点与该矿床产于火山机构附近的角斑质凝灰岩中的地质观察亦是吻合的。

在表 2 中我们还列出了内蒙古元古宙地层中白云鄂博(北矿)层状铁矿石和东升庙 Zn、Pb 黄铁矿床石英岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,分别为 15.9‰和 14.2‰,与筏子坝和阳坝矿床中新元古代磁铁石英岩和绢云石英片岩中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值非常接近,这进一步佐证了碧口群中磁铁石英岩和绢云石英片岩属沉积变质成因。

3 硅同位素

表 3 列出了筏子坝矿床碧口群磁铁石英岩、北京地区中元古界常州沟组石英岩、内蒙古白云鄂博群(Pt_2)石英岩和辽宁八家子矿区新元古界石英砂岩硅同位素组成。从该表可见,这 4 个矿(地)区的元古宇磁铁石英岩和石英岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值相似,而且变化范围较小(0.0‰~0.4‰),属碎屑沉积变质成因。筏子坝和八家子矿区的脉石英的硅同位素组成也与其主岩石英岩相近,说明它们可能是变质侧分泌成因。

表 3 筏子坝矿床磁铁石英岩及其他矿区石英岩的硅同位素组成

样品编号	矿区或地区	岩石类型	$\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS}-28}/\text{‰}$	资料来源
F ₁ -2	筏子坝矿床	磁铁石英岩(Pt_2)	0.0	本研究
F ₂ -11-2	筏子坝矿床	磁铁石英岩(Pt_2)	0.3	同上
F ₂ -15	筏子坝矿床	磁铁石英岩(Pt_2)	0.4	同上
F ₂ -23	筏子坝矿床	石英脉(块状矿石中)	0.1	同上
B-2	北京地区	石英岩(Pt_2)	0.0	丁梯平等,1994
BH-2	白云鄂博矿区	石英岩(Pt_2)	0.1	同上
BH-2-1	白云鄂博矿区	石英岩(Pt_2)	0.0	同上
8-43	八家子矿区	石英砂岩(Pt_2)	0.1	同上
8N-2	八家子矿区	石英脉	0.1	同上

4 铅同位素

筏子坝矿床铅同位素比值变化范围较大,即 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.977~18.612; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.479~16.039; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.850~39.131,总的来看,这些比值与日本及挪威的别子型矿床很相似,但是个别样品 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值高达 39.131,说明有后期放射性钍铅加入。此外,筏子坝矿床黄铁矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值与地质历史中的中新元古代单阶段演化铅的相应同位素比值相比,亦显然偏高,说明有放射性铀铅加入,有成矿后地质事件影响。

相形之下,挪威的别子型矿床的铅同位素比值变化很小,说明其均一化程度颇高。而日本别子型矿床的铅同位素特征与筏子坝矿床相似,不仅比值变化范围大,而且有的样品具有异常高的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值(19.321~19.378),说明其放射成因铀(^{235}U)铅较高,这一点与筏子坝矿床相似,亦是由后期作用所致。

在 Zartman 和 Doe(1981)的铅同位素比值的大地构造环境投影图上,筏子坝矿床、日本别子型矿床和挪威的别子型矿床表现明显的差异性,即:日本别子型矿床的投影点比较分散,但全部分布在大洋中脊和大洋岛屿玄武岩区内,它们显然是地幔来源的,这与日本中部晚古生代岩浆作用具有镁铁质岩石喷发的基本特点相一致(Sato and Sakai,1980)。而挪威 Trondheim 和 Sulitjelma 矿区硫化物铅同位素比值投影点呈线性展布于从 Doe 和 Zartman(1979)的地幔到上地壳模式生长曲线的范围之间。这种线性趋势可用幔源铅(玄武岩主岩)和上地壳端元铅(硅铝层基底或玄武岩周围的陆源沉积物)的混合来解释。而筏子坝矿床的投影点比较分散,在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上,主要分布在岛弧区及其附近,在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上,亦主要分布在岛弧区及下地壳区附近,但是其仍显出线性分布之势,说明其可能属幔-壳混合源,形成于与陆缘岛弧带有关的大地构造环境。

参 考 文 献

- 1 丁梯平,蒋少涌等.华北元古宙铅锌成矿带稳定同位素研究.北京:北京科学技术出版社,1992,28~35.
- 2 丁梯平等.硅同位素地球化学.北京:地质出版社,1994,31~49.
- 3 格里年科 B A,格里年科 JI H.硫同位素地球化学.赵瑞泽.北京:科学出版社,1980.
- 4 魏菊英,蒋少涌,万德芳.内蒙古白云鄂博稀土、铁矿床的硅同位素组成.地球学报,1994,1~2:102~110.
- 5 Fox J S, Farquhar R, Rui I, Cook N. Genesis of basalt-hosted massive sulphide deposits from the Trondheim and sulitjelma districts, Norway: ore lead isotopic considerations. Mineralium Deposita, 1988, 23(4): 276~285.
- 6 Sato K, Sasaki A. Lead isotopic features of the Besshi-type deposits and its bearing on the ore lead evolution. Geochem. Journal, 1980, 14: 303~315.
- 7 Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics-the model. Tectophysics, 1981, 75: 135~162.