

# 青海肯德可克矿床金属矿物的 标型特征及矿床成因类型的探讨

罗世清 赵寅芳 高应华  
(青海省地质中心实验室)

青海肯德可克铁、锌、铅矿床与国内其他矿床比较, 有两点是很特殊的。其一是矿床与钙镁橄榄石砂卡岩和透辉石砂卡岩等镁质砂卡岩有十分密切的成因联系; 其二是矿石的基本类型和组合特征与一般砂卡岩型铁矿床、铜铁矿床和多金属矿床不同。本文通过对该矿床几种主要金属矿物标型特征的初步研究, 认为该矿床是由沉积变质岩石、经镁质砂卡岩化作用、形成的镁砂卡岩型高中温热液铁、锌、铅矿床。

## 一、矿床地质简况

肯德可克矿床位于东昆仑褶皱系的西段、祁漫塔格复式背斜的北缘, 靠近与柴达木复式向斜的结合部位。

矿区出露的地层主要是石炭系白云质灰岩、结晶灰岩、生物碎屑灰岩和杂色砂岩, 其次是上泥盆统中酸性凝灰岩和凝灰熔岩。下古生代地层出露较少, 主要为变泥质硅质岩、变石英砂岩、碳质板岩、硅质大理岩及大理岩等。含矿砂卡岩出现的层位与下古生代地层相当。

矿区的主要构造为一近东西向延伸的向斜。砂卡岩和含矿带主要出现在向斜的轴部。区内断层发育, 以近东西向的逆冲断层规模较大。此外, 尚有北北东和北北西向的扭性断裂。构造对砂卡岩和矿床的形成起了控制作用。

区内岩浆岩有辉长岩、辉绿玢岩、闪长岩、石英二长斑岩、钾长花岗斑岩和石英斑岩等, 但规模均很小。初步认为砂卡岩与中基性岩浆岩有关。

砂卡岩是主要蚀变围岩。钙镁橄榄石砂卡岩和透辉石砂卡岩组成了镁砂卡岩带。其中, 透辉石砂卡岩是主要的含矿岩带。

基本的矿石类型是磁铁矿矿石、闪锌矿磁铁矿矿石、方铅矿矿石。此外, 有少量黄铁矿矿石和浸

染状黄铜矿矿石。三种主要矿石类型在空间上具明显的带状分布。矿带下部为磁铁矿矿石, 其上为闪锌矿磁铁矿矿石, 最上部为方铅矿矿石。方铅矿矿石构成单独的矿体, 产在白云质灰岩或大理岩中。

## 二、金属矿物的标型特征

### (一) 磁铁矿的标型特征

本区磁铁矿的化学成分及其与不同成分类型磁铁矿化学成分对比资料列于表1。由表1可见, 本区磁铁矿的 $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ 、 $MgO$ 、 $MnO$ 和 $SiO_2$ 的含量均介于沉积变质型矿床与砂卡岩型矿床之间, 具有明显的过渡性。本区磁铁矿的 $TiO_2$ 含量与沉积变质矿床接近, 而 $Al_2O_3$ 的含量更接近于砂卡岩型矿床和接触交代型矿床。本区南北两个矿带中磁铁矿的化学成份有较明显的差异: 南矿带的磁铁矿含钛、铝、镁、锰等元素较高, 而北矿带的磁铁矿含这些杂质元素较少。这种差异反映了南北两矿带磁铁矿的形成条件略有差别。

本区磁铁矿在林师整所描绘的 $TiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $MgO + MnO$ 三组份图解中的位置集中分布在砂卡岩型、接触交代型和火山岩型之间的沉积变质区(如图1), 说明磁铁矿的基本物质主要来源于沉积变质岩, 在砂卡岩化过程中其基本组份没有明显的变化。从本区磁铁矿含 $TiO_2$ 较高, 在图1中个别投点进入火山岩型和岩浆型磁铁矿区, 说明本区磁铁矿的物质来源或多或少受到火山作用或岩浆侵入作用的影响。

本区磁铁矿的晶形发育很差, 多数呈他形晶, 少数为半自形晶。磁铁矿主要分早晚两期, 以早期磁铁矿为主。磁铁矿颗粒细小, 绝大部分在0.10毫米以下。本区磁铁矿的物理性质标型特征及有关对比资料列于表2。本区磁铁矿的硬度和比重与区域变质型铁矿床的数值相近似, 晶胞常数与接触交代

表1 磁铁矿的化学成分  
Table 1. Chemical composition of magnetite

矿床(矿石)类型		化 学 成 份 (%)							总和
		FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	SiO <sub>2</sub>	
本 文	方铅矿矿石(1)	30.05	67.40	0.32	0.41	0.20	1.05		99.43
	闪锌矿磁铁矿矿石(5)	29.97	67.38	0.26	0.41	0.33	0.68		99.03
	南矿带磁铁矿矿石(11)	27.87	65.70	1.09	1.45	1.70	1.00	0.38	99.19
	北矿带磁铁矿矿石(2)	29.88	68.02	0.09	0.60	0.87	0.14	0.51	100.11
	本矿床总平均值(19)	28.75	66.48	0.72	1.03	1.17	0.72	0.43	99.30
对 比 资 料	沉积变质型矿床	29.45	68.11	0.55	0.21	0.19	0.09	1.59	
	砂卡岩型矿床	25.70	65.34	0.19	0.90	3.17	1.48	0.13	
	接触交代型矿床	28.71	67.34	0.11	1.04	0.37	0.45		
	火山岩型矿床	27.61	67.91	1.10	0.37	0.68	0.24		
	岩浆型矿床	32.90	47.66	6.83	3.00	2.22	0.54	1.05	

注: 对比资料见参考文献[1]。( )内数字为分析样品数, 下同。

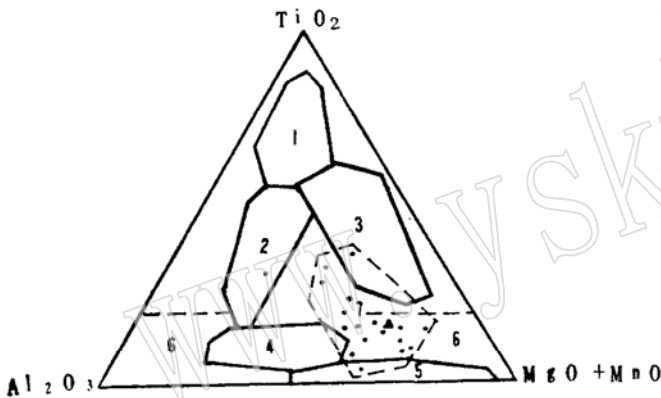


图1 磁铁矿的TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO+MnO三组份图解

说明: 1—副矿物型; 2—岩浆型矿床  
3—火山岩型矿床; 4—接触交代矿床  
5—砂卡岩型矿床; 6—沉积变质型矿床  
7—肯德可克矿床(▲为平均值)

Fig 1 Ternary diagram of the system TiO<sub>2</sub>·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·MgO+MnO of magnetite

型铁矿床和热液交代型铁矿床较接近; 反射率数值与热液交代型铁矿床接近; 爆裂温度属高温矿床范围。从磁铁矿的物理性质, 也可证实本区磁铁矿的成因是较复杂的。

## (二) 黄铁矿的标型特征

本区黄铁矿的化学成分和微量元素的含量及有关对比资料列于表3。由表3可见本区黄铁矿的微量元素中除砷较高外, 其他元素含量均较低。其中钴、镍含量与黄铁矿型铜矿床和沉积变质型层状铜矿床较接近, 但Co:Ni比值高出各类矿床, 只与砂

卡岩型铁铜矿床接近, 金的含量介于砂卡岩型铁矿床、黄铁矿型铜矿床与沉积变质型层状铜矿床之间; 砷的含量与中温热液型金矿床相近, 特别是北矿带的黄铁矿含砷更高, 并有金的明显显示, 可以作为寻找金矿的重要标志。上述特点表明本区黄铁矿的成因和磁铁矿一样受多种因素的影响。

本区黄铁矿主要呈半自形晶, 少数具立方体晶形。本区黄铁矿的物理性质标型特征见表4。由表4可见, 黄铁矿的显微硬度在砂卡岩型铁矿床范围内, 并与变质矿床接近; 黄铁矿的比重则在变质矿床范围内, 并与砂卡岩型铁矿接近。这些特征也说明本区黄铁矿具有成因上的过渡性。此外, 值得注意的是本区黄铁矿的晶胞常数和反射率值与陕西某“卡林型”金矿的数值接近, 黄铁矿的比重也与表4所列金矿床的黄铁矿相似, 说明在本区寻找金矿是较有利的。

## (三) 闪锌矿的标型特征

本区闪锌矿多呈黑褐色, 少数呈棕褐色, 常呈他形晶, 其颗粒细小, 一般在0.1毫米以下。用MPV-1型光电倍增管显微光度计, 以SiC为标准, 在546毫微米波长的单色光下测得其反射率为16.9% (4次测定平均值)。用IIMT-3型硬度仪测得显微硬度值Hv<sub>0.05</sub> = 173公斤/毫米<sup>2</sup> (48次测定平均值)。据阿基米德原理, 以四氯化碳为介质, 用1/万天平称重, 测得其比重为3.96 (8次测定平均值)。用x光粉晶照相法, 线谱用阿贝比长仪精确测量, 测得其晶胞常数a<sub>0</sub> = 5.4195 Å (两次测定平均值)。

表2 磁铁矿的物理性质标型特征  
Table 2. Physical properties of magnetite

矿床类型		晶胞常数 $a_0$ (Å)	显微硬度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	比重	反射率 (546毫微米)	爆裂温度 (°C)
本 文		8.3964(7)	515(35)	5.16(18)	18.4	388(18)
对比资料	区域变质型铁矿床	8.392	542	5.01—5.173	21.1	
	接触交代型铁矿床	8.384—8.405	600	4.626		
	热液交代型铁矿床	8.383—8.401	758—1174		16.1—19.1	
	岩浆型铁矿床	8.395—8.410	641	4.65—4.86	16.95	

注：晶胞常数由甘肃地质中心实验室宋大康用Cat. 2038型衍射仪精确测定。显微硬度用HMT-3型显微硬度仪，加压100克测定。比重用阿基米德法，以四氯化碳为介质，1/万分析天平称重，精确测定。反射率由地质矿产部矿床所陈殿芬用MPV-1型光电倍增管显微光度计以SiC为标准测定。  
对比资料见徐国风《磁铁矿的标型特征及其实际意义》一文。载《地质与勘探》1979年3期。表中的反射率数据是在波长为540毫微米的单色光下测定的。

表3 黄铁矿的主要化学成分和微量元素含量  
Table 3. Principal chemical composition and microelements

矿床(矿石)类型		主元素 (%)		微量元素 (ppm)						Co/Ni	
		Fe	S	Au	Ag	Cd	Co	Ni	As		Se
本 文	方铅矿矿石	46.27	52.21	0	36	38	87	63	2015	33	1.38
	黄铁矿矿石	46.19	51.74	0.1	4	5	100	75	3720	11	1.33
	闪锌矿磁铁矿矿石	46.11	51.31	0.5	6	0	237	83	5000	18	2.86
	南带磁铁矿矿石	46.26	51.63	0	6	0				26	
	北带磁铁矿矿石	46.72	51.40	0.6	1	0	25	30	9685	5	0.83
	本矿床总平均值 (13)	46.27	51.69	0.3	14	12	122	65	5105	20	1.88
对比资料	砂卡岩型铁矿床			0.54			1065	910			1.17
	砂卡岩型铜铁矿床			1.38			1490	1040			1.43
	中温热液型金矿床			336	0.6		35.9	34.1	7670	50	1.05
	黄铁矿型铜矿床			0.5	4.4	34	110	130	1000	89	0.85
	沉积变质型层状铜矿床			0.1	235		133	107			1.24

注：对比资料见参考文献[2]。

表4 黄铁矿的物理性质标型特征  
Table 4. Physical properties of pyrites

矿床类型		晶胞常数 $a_0$ (Å)	显微硬度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	比重	反射率 (546毫微米)
本 文		5.4177(3)	1371(56)	4.85(12)	52.0
对比资料	砂卡岩型铁矿床		1328—1802	4.984—5.05	
	变质矿床		1234.1	4.5—5.0	
	火山沉积型铁矿床		1375—1417		
	热液矿床		1436		
	金矿床			4.5—4.9	

注：晶胞常数、显微硬度、比重测定方法同表2。反射率是以WC为标准测定的。对比资料见参考文献[2]。

表5 闪锌矿的主要化学成分及微量元素含量

Table 5. Principal chemical composition and microelements content of sphalerite

矿床类型		主元素 (%)			微量元素 (PPM)							
		Zn	Fe	S	Cd	Ga	In	Ge	Au	Ag	Cu	Se
本文 (5)		53.86	10.43	33.25	7718	0.2	48.4	0.4	2.8	44	860	93
对比资料	长江中下游砂卡岩型铁铜矿床	59.33			2770	38	88	29		97		
	水口山砂卡岩-热液型铅锌矿床				2090	8	46			86		29
	小铁山火山热液型多金属矿床	58.25	4.11	31.80	3110	20	38	<1		202	9500	23
	凡口碳酸盐层控铅锌矿床	59.17	5.49	32.09	1900	310	<6	100		210		3
	湖南热液系铅锌矿床				3290	151	116	12		136.1		
	湖南层控系矿床				5420	58.8	6.4	98		34.04		

注：对比资料前四条见参考文献[3]；后两条据余琼华等的《湖南铅锌矿床物质组份及其特征元素比值在矿床成因上的意义》一文，见第一届矿床矿物成因矿物学术会议资料。

闪锌矿的主要化学成分和微量元素含量及有关对比资料见表5。由表5可见，本区闪锌矿属铁闪锌矿类型，其微量元素含量独具特色，表现为富镉、硒，低银，贫铍、锗。其中镉的含量高出一般热液矿床一倍以上，只有湖南层控系铅锌矿床的含量与其接近，硒的含量也很高，比水口山砂卡岩-热液型铅锌矿床和小铁山火山热液型多金属矿床高二至三倍，银的含量除稍高于湖南层控系铅锌矿床外，比其他各类矿床均低许多，铍、锗含量较各类矿床都低，铋的含量与水口山砂卡岩-热液型铅锌矿床接近，而低于长江中下游砂卡岩型铁铜矿床。

综上所述，本区闪锌矿在一定程度上显示出火山热液型矿床与砂卡岩-热液型矿床之间的过渡性特征。这些特点可能是由于形成闪锌矿的组份来源不同所决定的。

#### (四) 方铅矿的标型特征

本区方铅矿呈半自形或地形晶，少数为立方体

自形晶。在与黄铁矿相同的条件下，测得其反射率  $R_{546\text{毫微米}} = 42.2\%$  (3次测定的平均值)。用与闪锌矿相同的条件测得其显微硬度值  $Hv_{40\text{克}} = 62$  公斤/毫米<sup>2</sup> (42次测定的平均值)；测得比重为7.52 (6次测定的平均值)。用X光粉晶照相法，线谱用阿贝比长仪精确测量，求得其晶胞常数  $a_0 = 5.9335 \text{ \AA}$  (两次测定的平均值)。

本区方铅矿的主要化学成份、微量元素的含量及有关对比资料见表6。由表6可见本区方铅矿的微量元素具有硒、镉、铋较高、银中等和锑较低的特点。其中硒的含量远远超出其他矿床，只有小铁山火山热液型多金属矿床与其靠近，镉、银、铋的含量则介于长江中下游砂卡岩型铁铜矿床与水口山砂卡岩热液型铅锌矿床之间；而锑和银的含量则与湖南热液型铅锌矿床的含量相近。本区方铅矿在Sb、Bi、Ag三组份图解(图2)中的投影点位置比较集中，出现在长江中下游砂卡岩型铁铜矿床与

表6 方铅矿的主要化学成分及微量元素含量

Table 6. Principal chemical composition and microelements content of galena

矿床类型		主元素 (%)		微量元素 (ppm)								
		Pb	S	Cd	Ag	Sb	Bi	Cu	Zn	Fe	Au	Se
本文 (5)		84.62	13.21	113	913	260	1440	440	560	2860	0.1	586
对比资料	长江中下游砂卡岩型铁铜矿床			89	860		7500					16
	水口山砂卡岩-热液型铅锌矿床		13.26	150	1070	1580	860					60
	小铁山火山热液型金属矿床		14.13	90	577							484
	凡口碳酸盐层控铅锌矿床		17.52	50	1640	1210	120					<5
	湖南热液系铅锌矿床	85.19		20	1046.5	248	678	1880	3680	4140		0.08
	湖南层控系铅锌矿床	83.87	12.98		117.5	6.4	2	476	3800	1800		0.1

注：同表5注。

湖南热液铅锌矿床之间,与后者更接近些。

综上所述,尽管本区方铅矿矿石均赋存在白云质灰岩或大理岩中,但从方铅矿的微量元素标型特征看,它与层控矿床相差很远。本区方铅矿基本上应属于与矽卡岩作用密切相关的热液型,而其硫质来源与岩浆作用或火山作用有关。

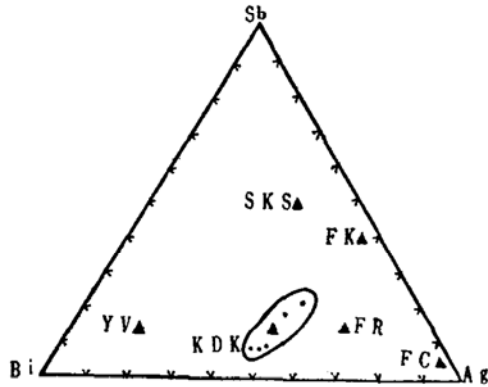


图2 方铅矿中Sb、Bi、Ag的原子百分比图解

说明:KDK 肯德可克铁、铅、锌矿床(▲为平均值)

SKS 水口山矽卡岩-热液型铅锌矿床

YV 长江中下游矽卡岩型铁铜矿床

FK 凡口以碳酸盐为主岩的层控铅锌矿床

FR 湖南热液系铅锌矿床

FC 湖南层控系铅锌矿床

Fig. 2. Diagram of atomic percentage of Sb, Bi and Ag in galena

### 三、矿床成因类型的探讨

在矿区从事地质工作的同志,根据各自掌握的一些地质依据,对肯德可克矿床的成因提出过三种不同的看法:即沉积变质改造型、矽卡岩-热液充填改造型和热液充填型。大多数同志偏向于矽卡岩-热液型。

作者认为这几种观点都有一定道理,但又不够全面。本文通过四种主要金属矿物标型特征的对比研究,把上述三种观点有机地联系在一起,认为肯德可克矿床是多成因的。

从磁铁矿和黄铁矿的标型特征,明显地揭示出本矿床既不同于典型的矽卡岩型矿床,也不同于典型的沉积变质矿床,而兼有两类矿床的部分特征,显示出明显的过渡性。闪锌矿虽然独具特色,但总的看来仍具有矽卡岩-热液型的一些特征。方铅矿

则是比较典型的与矽卡岩作用相关的热液型矿物。此外,从闪锌矿和方铅矿的微量元素的标型特征,特别是富含硒的特点可以看出,岩浆或火山作用仍是不可忽视的成矿因素。概括起来,认为肯德可克矿床是富含铁(包括一部份其他造矿元素)的沉积变质岩石,在有岩浆或火山作用的条件下,遭受镁质矽卡岩化形成的镁矽卡岩-热液型铁、锌、铅矿床或铁-多金属矿床。

磁铁矿矿石、闪锌矿磁铁矿矿石主要属沉积变质、镁矽卡岩化改造型;方铅矿矿石则属于与矽卡岩相关的热液型。

大量的岩石薄片观察发现,本区受改造的岩石主要是富铁的钙铁石榴石角岩,改造后形成以钙镁橄榄石矽卡岩和透辉石矽卡岩为主的镁质矽卡岩,同时有铁、铅、锌等造矿物质进入矽卡岩残液;而矽卡岩主要是与中基性岩浆岩(辉长岩和辉长闪长岩等)有关,岩浆或火山活动提供了大量硫质来源;加之形成的矿石类型及其组合特征不同于一般的矽卡岩型或矽卡岩-热液型铁矿床及铁铜矿床或多金属矿床。主要金属矿物的标型特征又具有一定特色,因此,作者初步认为肯德可克矿床是一种新的成因类型,建议将其命名为“肯德可克型铁、锌、铅矿床”或“肯德可克型铁-多金属矿床”。

确定“肯德可克型”矿床的意义,在于它加强了沉积变质型与矽卡岩型或矽卡岩-热液型矿床之间的联系,也加强了铁矿床与多金属矿床之间的联系。

本文的化学分析由何佩成等同志完成。矿物反射率由地质矿产部矿床所陈殿芬同志测定。晶胞参数分别由甘肃地矿局中心实验室宋大康同志及我室魏培德同志测定。地质矿产部矿床所王立本同志对本文的编写进行了协助。在此一并致谢。

### 参 考 文 献

[1] 林师整,1982,磁铁矿矿物化学、成因及演化的探讨。矿物学报,第3期,P166—174。

[2] 徐国凤等,1980,黄铁矿的标型特征及其实际意义。地质论评,Vol.26, No.6, P541—544。

[3] 宋学信,1992,凡口矿床闪锌矿和方铅矿的微量元素及其比值—一个对比性研究。岩矿测试,Vol.1, No.3, P37—43。

[4] 邵洁涟等,1982,陕西某“卡林型”金矿床的黄铁矿研究。岩矿测试,Vol.1, No.3, P25—33。

**The Typomorphic Peculiarities of Ore Minerals in Kendekok  
Deposit of Qinghai, China and a Discussion on the  
Genetic Type of the Deposit**

Luo Shiqing, Zhao Yinfang, Gao Yinghua

**Abstract**

The results on the study of typomorphic peculiarities of magnetite, pyrite, sphalerite and galena collected from Kendekok Fe-Zn-Pb deposit, Qinghai, China, are presented.

The Kendekok magnetites are richer in  $TiO_2$  and  $Al_2O_3$  than skarns-hydrothermal deposits, and richer in MgO and MnO than sedimentary-metamorphic deposits. Their average hardness is  $515 \text{ kg/mm}^2$ , specific gravity 5.16, reflective power 18.4%, the unite cell  $a_0 = 8.3964 \text{ \AA}$ .

The Kendekok pyrites are rich in As, but poor in other minor elements. Their average hardness is  $1371 \text{ kg/mm}^2$ , specific gravity 4.85, reflective power 52.0%, and the unite cell  $a_0 = 5.4177 \text{ \AA}$ .

The Kendekok sphalerites are rich in Cd and Se, but poor in Ag, Ga and Ge. Their average hardness is  $173 \text{ kg/mm}^2$ , specific gravity 3.96, reflective power 16.9% and the unite cell  $a_0 = 5.4195 \text{ \AA}$ .

The Kendekok galenas are rich in Se, Cd and Bi, but poor in Sb. Their average hardness is  $62 \text{ kg/mm}^2$ , specific gravity 7.52, reflective power 42.2% and the unite cell  $a_0 = 5.9335 \text{ \AA}$ .

The results of preliminary study show that Kendekok deposit is a Transitional type between sedimentary-metamorphic, and skarns-hydrothermal deposits. The source rock of the deposit is a sedimentary-metamorphic rock rich in iron and other minerogenetic elements. The genesis of the deposit is a result that the source rock suffered a hydrothermal metasomatism during the magnesian skarns diagenetic process.