

新疆天山成矿带沉积磷矿床地质 及地球化学研究

夏学惠,袁家忠,杨辉艳,张 亮,郝国庆

(中化地质矿山总局 地质研究院,河北 涿州 072750)

摘 要:采用对不同聚磷区含磷岩系剖面进行对比,并对不同类型矿石分别采样进行地球化学测试,系统研究了天山成矿带内的沉积磷矿,将该区含磷岩系划分为碎屑含磷岩系、黑色含磷岩系以及火山-硅质含磷岩系。根据研究区含磷岩系特征,划分出碎屑岩型、黑色碳质岩型和火山-硅质岩型,并分别对 3 种类型磷矿的地球化学特征进行了研究。碎屑岩型磷矿以 MgO 含量明显偏低, Ba 含量偏高,伴生 Yb、La 为特点;黑色碳质岩型磷矿以含 V、U 为特点;火山-硅质岩型磷矿 Ba 含量则明显偏低, Eu 基本无异常, Ce 亏损明显,以伴生 Mo、Ni 为特征。最后,根据成矿条件划分出乌什-柯坪、库鲁克塔格、科古琴和平台山-方山口 4 个远景聚磷区。

关键词:天山成矿带;沉积磷矿;矿床地球化学;找矿远景

中图分类号:P619.213;P612

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)03-0011-11

Geology and Geochemistry of Sedimentary Phosphate Beds at Mount Tianshan Metallogenic Belt in Xinjiang Uygur Autonomous Region

XIA Xuehui, YUAN Jiazhong, YANG Huiyan, ZHANG Liang, XI Guoqing

(Research Institute of Geology, China Central Bureau of Chemical Geology and Mine, Zhuozhou, Hebei 072750, China)

Abstract: By using such methods as contrast of the sectional drawings of phosphoric rock series in different phosphorus enrichment areas and the geochemical test of samples collected from different types of phosphate beds, the paper studied the sedimentary phosphate beds at Mount Tianshan metallogenic belt systematically and divided the phosphoric rock series into clastic rock series, black carbonaceous rock series and volcano-silicolites phosphate rock series. According to the characteristics of phosphoric rock series, some subtypes of rocks have been divided and the geochemical and geological characteristics of three kinds of phosphate beds have been researched. The results showed that clastic-type phosphate beds were characterized by obviously lower content of MgO, higher content of Ba and accompanying Yb and La; black carbonaceous shale-type phosphate beds were characterized by containing V, U elements; volcano-silicolites-type phosphate beds were characterized by obviously lower content of Ba, no abnormality of Eu, obvious depletion of Ce and accompanying Mo and Ni. According to the metallogenic conditions, such four perspective phosphorus enrichment areas as Wushi-Keping, Kuruktage, Kokirqin and Pingtaishan-Fangshankou have been divided.

Key words: Mount Tianshan metallogenic belt; sedimentary phosphate beds; geochemistry of deposit; ore-searching potential

新疆是我国北方缺磷地区之一,加强磷矿找矿研究是解决南磷北运的重要途径。天山沉积型磷矿成矿带西起新疆柯坪及精河一带,经尉犁、哈密到甘肃的敦煌。20 世纪 50—80 年代,地质矿产部门曾先后对该

收稿日期:2011-11-17

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(1212010781063)

作者简介:夏学惠(1955—),男,吉林农安人,教授级高工,主要从事矿床地质研究与评价工作。E-mail:xxh@hgdy.com.cn

区矿床进行地质勘查,并取得了一些勘查成果。但是,除赵省民等^[1]对敦煌方山口磷矿进行了成因研究外,尚未对天山地区磷矿开展过系统的理论研究。因此,在国家实施西部大开发的战略中,有必要加强对该区磷矿床的研究。

天山地区磷矿主要产于稳定地台区,为古陆壳结晶基底上的陆表海盖层沉积,属浅海或滨海相。磷块岩形成于早寒武世,含磷岩系为下寒武统,平行不整合于震旦系冰碛岩或碳酸盐岩上。产出特征与我国南方寒武纪磷矿层位可以对比,但沉积环境有较大差别^[2-5],与邻区哈萨克斯坦小卡拉套同时代磷矿有一定差异^[6]。

1 天山成磷带成矿地质背景

天山成矿带,地跨天山—兴安褶皱系和塔里木地台两个 I 级大地构造单元。天山褶皱系与天山山脉的走向一致,呈近东西向展布。南以天山南缘深断裂为界,与塔里木地台分开。北以天山北缘深断裂为界,与准噶尔地槽褶皱系分开。该褶皱系是在扬子旋回形成的古中国地台的基础上形成的,兴凯运动古中国地台解体,由地台转化成地槽。地台解体后的残留断块断续出露,构成天山中间隆起带,分割成南天山、北天山和北山褶皱带,经加里东运动和华力西运动逐步形成向两侧倒转的叠瓦状的扇状褶皱带,燕山运动和喜马拉雅运动又使褶皱带产生断块升降。区内地层出露齐全,下寒武统含磷地层主要分布在北天山向斜和北山褶皱带北侧。

塔里木准地台位于天山以南、昆仑山以北,呈菱形块状。除周边地台有前震旦纪变质岩构成的基底和古生代盖层出露外,内部广大地区均被新生代地层所覆盖。塔里木是经多旋回构造运动而形成的地台,基底最后固结时期为扬子旋回。据构造演化特点,可进一步划分为库鲁克塔格断隆、柯坪断隆、铁克里克断隆、库车山前拗陷等构造单元^[7]。其中,下寒武统含磷地层主要分布于塔里木地台北缘柯坪断隆和库鲁克塔格断隆内。

2 含磷岩系特征

天山沉积型磷矿成矿带西起新疆柯坪及精河一带,经尉犁县、哈密市到甘肃的敦煌市,长约 1 500 km,宽 200~400 m。主要含磷层位为下寒武统,相当于梅树村阶和沧浪铺阶的地层。成矿带内的含磷岩系类型在不同地区不尽相同,柯坪、库鲁克塔格及北山地区,含磷岩系以黑色碳质岩系为主,主要为碳质页岩、碳质板岩、硅质岩和碳酸盐岩组合;库鲁克塔格地区夹有火山碎屑岩;科古琴山地区含磷岩系以碎屑岩系为主,主要为粉砂岩、粉砂质硅质泥岩夹灰岩组合。

2.1 碎屑含磷岩系

碎屑含磷岩系主要分布于精河—霍城一带(图 1),含磷岩系为寒武系下统磷矿沟组,以浅海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积为主,为一套滨浅海相陆源碎屑沉积和碳酸盐岩沉积。沉积厚度一般不

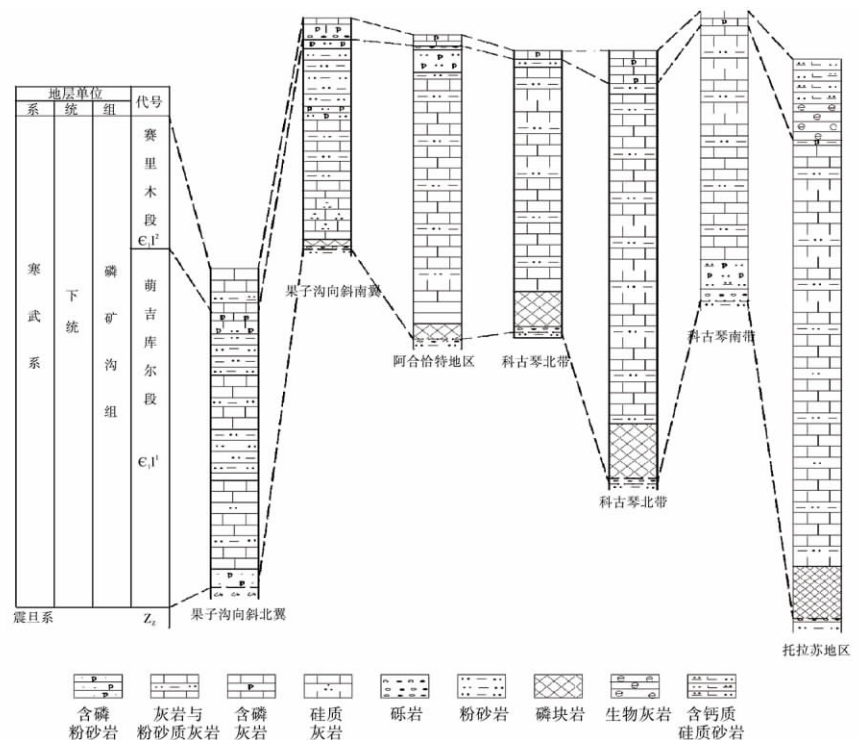


图 1 科古琴—果子沟地区含磷岩系柱状对比图

Fig. 1 The contrast of columnar sections of phosphoric rock systems in Kokirqin-Guozigou area

大:下寒武统磷矿沟组下段主要为磷矿岩层,由磷质砾岩、钙质磷块岩、硅质磷块岩、含磷钙质砂岩、含磷石英砂岩和砾状磷块岩等组成,厚度 1.5~10.4 m;中段为粉砂岩与灰岩互层,厚度 36~38 m;上段为厚层状生物碎屑灰岩,厚度 0.5~2 m。

2.2 碳质含磷岩系

下寒武统双鹰山组是以黑色碳质碎屑沉积为主的含磷岩系(图 2),含矿层段位于双鹰山组下部和西双鹰山群底部,分别称之为下矿段和上矿段。下矿段底部通常为震旦系古风化壳的含砾粘土岩(双鹰山组底部),其上为含碳石英岩、粉砂质板岩、变粉砂岩、含钒碳质板岩及碳质磷块岩等组成的浅变质碎屑岩系;上矿段下部为双鹰山组的含碳石英岩,上部为硅质板岩覆盖。

寒武系下统双鹰山组可分为下矿段和上矿段,该组与下伏震旦系呈角度不整合接触。

下矿段为含砾粘土岩,厚 5~20 m,磷块岩层;上矿段为千枚岩夹碳质磷块岩层,含钒碳质板岩,碳质磷块岩层等,厚 0~28 m。该层微细层理发育,具板状构造,变余泥状结构,为炭质板岩与含碳硅质板岩间的过渡层。上部硅质含量增高,逐渐过渡为含碳硅质板岩;下部碳质含量增高,逐渐过渡为炭质板岩。

寒武系中上统西双鹰山群由上下两段组成,该群与上覆奥陶系地层呈整合接触。

下段:下部为含磷粉砂质碳质板岩夹磷块岩透镜体,厚 40~80 m。

上段:下部为含碳硅质板岩,厚 10~50 m;上部为硅质板岩,厚 133~200 m。

2.3 火山-硅质含磷岩系

含磷岩系主要分布在库鲁克塔格一带(图 3),为寒武系下统西大山组,以火山岩、硅质岩为主,为一套海相火山岩与硅质岩沉积。下寒武统西大山组含磷岩系可分为五个岩性段:灰黑色硅质岩段,厚 8~15 m;磷块岩与玄武安山玢岩、凝灰岩段,厚度变化大;黑色薄层状燧石岩段,厚 37 m;含泥砂质灰岩夹薄层燧石碳质泥岩段,厚 12 m;含泥砂质灰岩与薄层泥砂岩互层段,厚 44 m。

3 磷矿床特征

天山成矿带主要沉积磷矿床有新疆乌什县苏盖布拉克磷矿、精河县科古琴磷矿、尉犁县木穷库都克磷矿和窝伦塔格磷矿、哈密平台山、大水磷矿,甘肃方山口、双鹰山等磷矿床(点)。

按含磷岩系的岩性特征,天山成矿带下寒武统磷矿主要划分为碎屑岩型磷矿、黑色碳质岩型磷矿和火山-硅质岩型磷矿(表 1)。

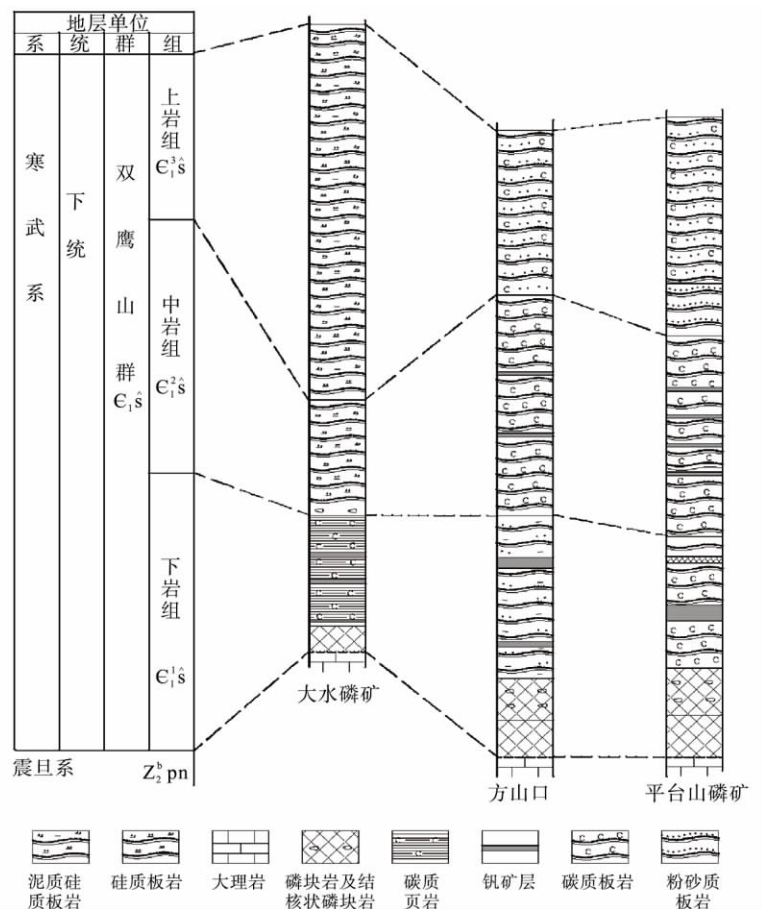


图 2 哈密—敦煌一带含磷岩系柱状对比图

Fig. 2 The contrast of columnar sections of phosphoric rock systems in Hami-Dunhuang area

表 1 沉积磷矿分类表

Tab. 1 The classification of sedimentary phosphate beds

类型	碎屑岩型磷矿	碳质岩型磷矿	火山-硅质岩型磷矿
特征			
岩石组合	粉砂质泥质岩、磷块岩、白云岩、含重晶石磷质白云岩、板岩等	碳质页岩、碳质板岩、含碳磷质岩、泥质灰岩及含钒碳质板岩、磷块岩	玄武质安山岩、硅质岩、燧石岩、凝灰岩、磷块岩等
矿体特征	矿体为层状,底板为白云岩、硅质岩和燧石层,顶板为泥岩、硅质岩等	矿体呈层状,底板为粉砂岩,顶板为粉砂质碳质页岩夹团块灰岩	矿体呈层状,底板为硅质岩,顶板为火山岩
矿石结构构造	凝胶结构、假鲕粒、砂屑结构,块状构造	千枚状构造,变余泥质、粒状变晶、鳞片变晶和鳞片粒状变晶等结构	条带状、块状、结核状构造,胶状、针柱状结构
矿石矿物	碳氟磷灰石(胶磷矿)、微晶磷灰石、石英、重晶石、白云石、少量锆石、金红石、电气石	碳氟磷灰石(胶磷矿)、微晶磷灰石、极少量绿泥石、褐铁矿、碳质物,碳质和绢云母聚集成条带状或团块状	碳氟磷灰石(胶磷矿)、微晶磷灰石、玉髓、绿泥石、绢云母
矿石类型	结核状硅质磷块岩、块状磷块岩、结核状磷块岩,角砾状磷块岩及砂质磷块岩	含碳质层纹状磷块岩、砂状磷块岩、砾状磷块岩	硅质磷块岩、钙质磷块岩、砂质磷块岩、含磷结核泥岩
伴生有益元素	Yb、La	V ₂ O ₅ 、U	Y、Mo、Ni
矿石质量	P ₂ O ₅ 平均在 10%~22.4%	P ₂ O ₅ 含量 8%~21%	P ₂ O ₅ 含量 7%~30%
矿床规模	小型	大、中型	小型
矿床实例	科古琴—果子沟,沙伊里克	平台山、方山口、大水、苏盖特不拉克、西双鹰山等	木穷库都克、西山布拉克、窝伦塔格、喀温库杜克等

4 矿床地球化学

4.1 碎屑岩型磷矿床地球化学特征

4.1.1 主量元素

磷矿石与含磷岩石中化学成分差异较大(表 2),含磷碎屑岩中 SiO₂、Al₂O₃、Na₂O、K₂O 含量较高,而磷块岩中 CaO、P₂O₅、CO₂ 含量较高, MgO 含量仅 0.63%,反映该类磷矿以硅质碎屑岩为特色,磷块岩矿石除了含有磷灰石外,与碎屑岩化学成分类似,表明为碎屑沉积型磷块岩矿石。

从岩矿石化学成分对比直方图中可见(图 4), SiO₂、CaO、P₂O₅ 三组元素均出现高值, TiO₂、MnO 两组元素均出现低值,规律性明显。

4.1.2 微量元素

通过磷矿石与不同含磷岩石微量元素分布特点(表 3),并与地幔岩进行标准化对比发现(图 5),均富集碱金属、碱土金属、稀散稀有及放射性金属元素,而亏损幔源元素。

磷块岩与其他岩石相比,富集卤素元素 I、放射性元素及 Ba 元素, Ba 含量最高达 $23\ 100 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ 。

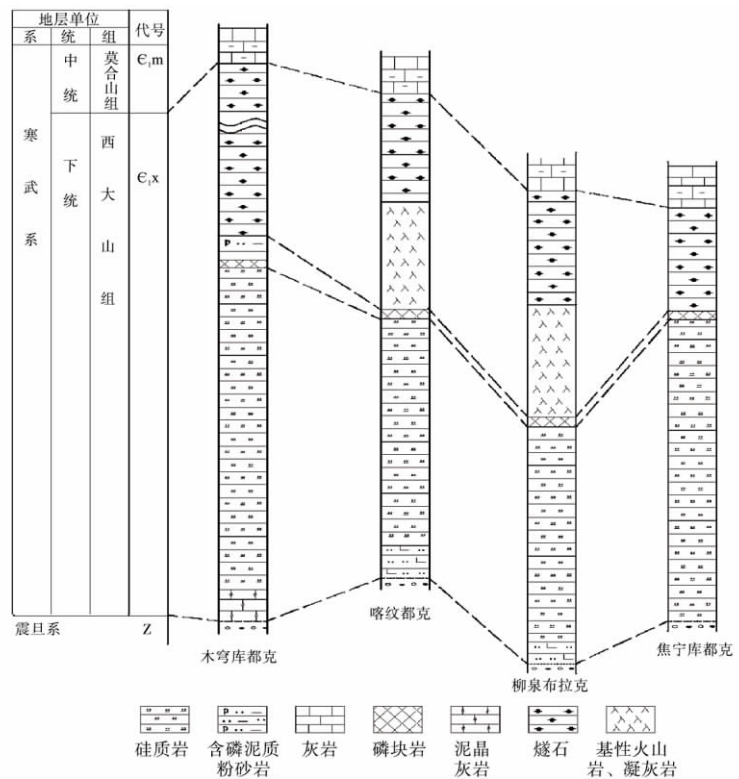


图 3 库鲁克塔格地区含磷岩系地层柱状对比图

Fig. 3 The contrast of columnar sections of phosphoric rock systems in Kuruktag area

表 2 碎屑岩型磷矿岩矿石化学成分表

Tab. 2 The chemical components of ores in clastic-type phosphate beds

样品名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	V ₂ O ₅
含磷岩	66.20	0.36	6.82	2.27	1.03	9.26	1.13	0.043	1.43	1.05	1.84	5.74	0.02
含磷岩	69.75	0.46	7.65	2.77	1.96	5.16	1.12	0.045	1.77	1.06	3.02	2.17	0.03
磷块岩	53.00	0.37	1.68	2.15	0.61	21.90	0.63	0.048	0.19	0.56	14.25	3.35	0.01

注:由中化地质矿山总局中心实验室分析(2010,原子吸收分光光度计法)

表 3 微量元素分析表

Tab. 3 The analysis of trace elements

样号编号	样品名称	Nb	Sc	Cr	Co	Ni	Mo	Ga	Th	U	Rb	Ta
TC-3-H2	含磷岩	17.90	5.75	51.1	3.96	27.21	5.09	21.0	9.37	8.44	43.00	0.74
TC-6-H2	含磷岩	18.21	6.21	72.6	4.22	48.13	6.35	25.7	14.80	15.10	59.20	0.59
TC-7-H2	磷块岩	4.17	11.70	45.3	3.45	19.11	1.38	7.46	11.90	13.30	6.32	0.25
样号编号	样品名称	Se	Zr	Hf	Br	I	V	Sr	B	Ba	Sr/Ba	V/Ni
TC-3-H2	含磷岩	1.11	684	18.60	1.97	1.92	145	338	16.00	23 100	0.015	5.33
TC-6-H2	含磷岩	5.20	1 378	38.21	2.39	2.22	207	293	27.61	11 300	0.03	4.30
TC-7-H2	磷块岩	0.40	196	6.44	1.29	3.42	32.12	794	10.23	440	1.81	1.68

注:由中化地质矿山总局中心实验室分析(2010),分析方法:电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定,平均相对标准偏差<5%

含磷碎屑岩 Ba 含量 $11\ 300 \times 10^{-6}$ ~ $23\ 100 \times 10^{-6}$ $\mu\text{g/g}$, Sr/Ba 为 0.015 ~ 0.026,磷块岩 Sr/Ba 明显高于碎屑岩;V/Ni 比值二者差异也较大,含磷岩石中 V 含量明显偏高(表 3);磷块岩的 U/Th 高于碎屑岩石。

4.1.3 稀土元素

磷矿石与含磷岩石稀土元素总量的差别较大:磷块岩稀土总量为 541.03×10^{-6} $\mu\text{g/g}$,含磷岩石稀土元素总量一般为 341.77×10^{-6} ~ 591.378×10^{-6} $\mu\text{g/g}$ 。因此,磷块岩石与含磷岩石稀土元素含量相差不大,稀土元素总量不高(表 4)。

稀土配分曲线总体是右倾,表现为轻稀土段斜率大于重稀土段,轻稀土分异明显(图 6)。

各种岩矿石均表现为明显负 Eu 异常, δEu 值在 0.19~0.79。含磷岩石 δCe 为 0.86 和 0.85,基本无异常,但磷块岩 Ce 负异常明显, δCe 为 0.48。LREE/HREE 为 0.95~1.70,反映轻重稀土分馏不明显。

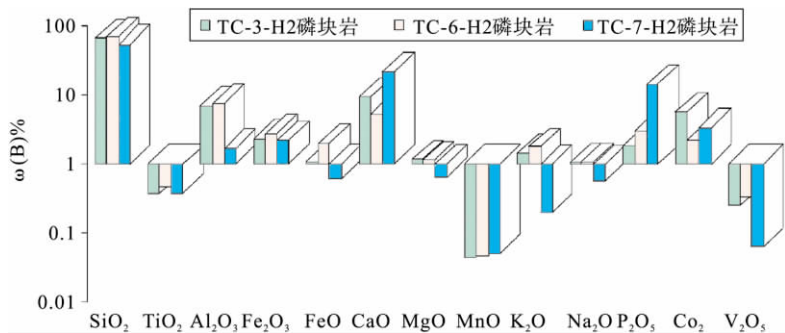


图 4 碎屑岩型磷矿化学成份对比图

Fig. 4 The contrast of chemical components of ores in clastic-type phosphate beds

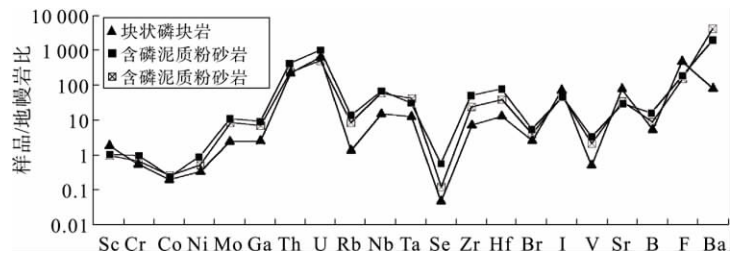


图 5 碎屑岩型磷矿岩矿石微量元素蛛网图

Fig. 5 The spider diagram of trace elements of ores in clastic-type phosphate beds

表 4 稀土元素分析结果表

Tab. 4 The analysis result of REE

样号编号	样品名称	采样地点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
TC-3-H2	含磷粉砂岩	托拉苏	38.51	93.51	13.51	55.62	13.00	0.96	10.52	2.16	13.81
TC-6-H2	含磷粉砂岩	托拉苏	69.22	159	21.73	87.03	20.91	1.02	16.91	3.70	25.42
TC-7-H2	块状磷块岩	托拉苏	76.30	81.62	16.23	71.62	15.02	3.24	13.23	2.69	18.53
样号编号	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	∑REE	La/Yb	LREE/HREE	δCe	δEu
TC-3-H2	2.75	7.44	1.13	7.15	1.08	80.70	341.77	3.20	1.70	0.85	0.28
TC-6-H2	5.17	14.4	2.28	14.5	2.20	148	591.37	2.83	1.54	0.86	0.19
TC-7-H2	4.13	11.1	1.54	8.64	1.29	216	541.03	5.24	0.95	0.48	0.79

注:由中化地质矿山总局中心实验室分析(2010),分析方法:电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定,平均相对标准偏差<5%;球粒陨石标准化数据^[8]

4.2 碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿床地球化学特征

4.2.1 主量元素

不同类型磷矿石化学成分差异较大(表 5),结核状磷块岩中 SiO₂ 含量 9.54%~17.12%,块状磷块岩 SiO₂ 含量 39.21%~41.68%,条带状磷块岩 SiO₂ 含量 15.49%~24.67%,而不同磷块岩中则以 CaO、P₂O₅、CO₂ 含量高为特点,V₂O₅ 含量在柯坪和大水磷矿中较高,为 0.85%~1.67%,已达工业品位。反映该类磷矿以碳质黑色含钒为特色。

其中,木穹库都克地区的条带状磷块岩,P₂O₅ 含量明显偏高,为 21.50%~29.78%,该类磷矿属火山-硅质型磷块岩,矿石除了表现磷成分含量高外,稀土元素,钼、镍含量均较高。表明在磷矿沉积期间有海底火山喷发物质的加入。从矿石化学成分对比直方图中(图 7)可见,SiO₂、CaO、P₂O₅ 三组元素均出现高峰值,TiO₂、MnO 两组元素均出现低峰值,规律性明显。

4.2.2 微量元素

不同含磷岩石与磷矿石微量元素(表 6),亲铁元素 V 变化范围为 324×10⁻⁶~1 595×10⁻⁶ μg/g, Cr 的变化范围较大,为 121×10⁻⁶~324×10⁻⁶ μg/g,Co 的含量为 3.03×10⁻⁶~23.5×10⁻⁶ μg/g,Ni 的含量为 34.9×10⁻⁶~248×10⁻⁶ μg/g。与维诺格拉夫元素在沉积岩中的丰度值比较,该区磷块岩与含磷岩石 V、Cr 明显偏高,Co 则明显偏低,Co/Ni 比值为 0.066~0.140。

大离子亲石元素 Sr 的含量为 424×10⁻⁶~4 835×10⁻⁶ μg/g,Ba 的含量为 720×10⁻⁶~62 000×10⁻⁶

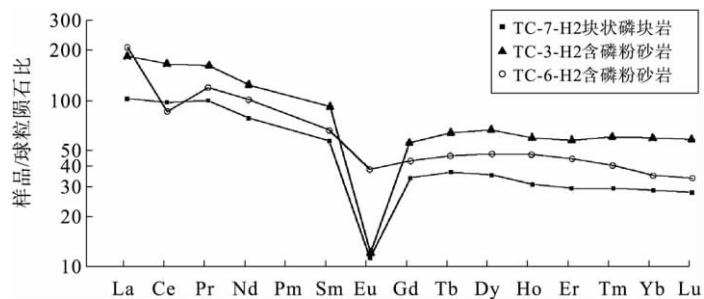


图 6 碎屑型磷矿岩矿石稀土元素分布图

Fig. 6 The REE distribution of ores in clastic-type phosphate beds

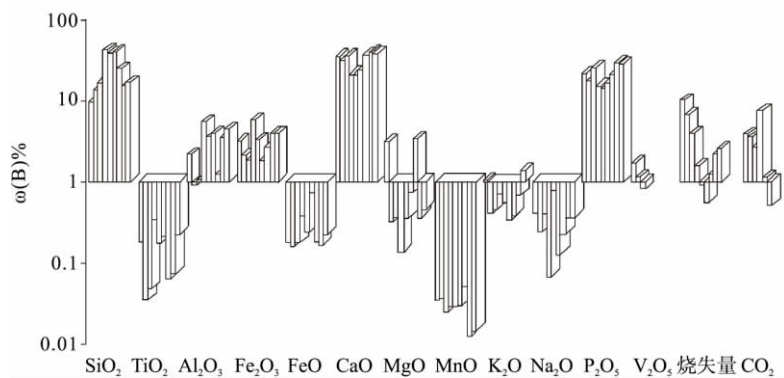


图 7 碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿化学成分直方图(样号同表 5)

Fig. 7 The histogram of chemical components of carbonaceous rock-type and volcano-silicolites-type phosphate beds

$\mu\text{g/g}$, 远远高于正常沉积岩中的背景含量, 尤其是 Ba 在碳质岩型磷矿化岩中高度富集。Ba 异常的产生, 说明在磷矿沉积过程中有含矿热卤水的加入。

表 5 碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿化学成分对比表

Tab. 5 The contrast of chemical components from carbonaceous rock-type and volcano-silicolites-type phosphate beds $\omega(\text{B})\%$

样号 编号	样品 名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	烧失量
1	结核状 磷块岩	9.54	0.19	2.16	3.22	0.18	34.88	3.13	0.035	1.06	0.42	21.61	1.69	10.17
2	结核状 磷块岩	13.33	0.035	0.93	2.12	0.16	31.12	0.33	0.037	0.41	0.24	17.36	1.17	6.81
3	结核状 磷块岩	17.12	0.048	1.03	1.89	0.18	35.39	0.35	0.025	0.46	0.4	25.12	0.85	4.02
4	块状磷 块岩	41.68	0.34	5.62	5.87	0.38	21.48	0.14	0.029	0.71	0.068	15.25	0.16	—
5	结核状 磷块岩	39.21	0.18	3.68	3.32	0.24	21.15	0.35	0.029	0.55	0.80	13.51	0.09	—
6	块状磷 块岩	40.85	0.21	4.01	1.87	0.72	23.92	0.74	0.031	0.34	0.13	16.55	0.06	—
7	条带状 磷块岩	24.67	0.07	1.26	2.73	0.19	35.48	3.40	0.05	0.39	0.23	21.50	0.13	—
8	条带状 磷块岩	15.49	0.08	3.57	3.94	0.17	40.90	0.36	0.01	0.69	0.36	29.78	0.22	—
9	条带状 磷块岩	16.55	0.23	4.40	3.98	0.23	38.50	0.47	0.01	1.40	0.35	28.62	0.27	—

采样地点: 1-3 柯坪黑泥沟(碳质岩型磷矿); 4-6 哈密大水(碳质岩型磷矿); 7-9 库鲁克塔格地区木穹库都克(火山-硅质岩型磷矿); 由中化地质矿山总局中心实验室分析(2010), 分析方法: 原子吸收分光光度计法; —未测

碳质岩型磷矿与火山-硅质岩型磷矿岩石相比, 富集卤素元素 I 和 Ba 元素, Ba 含量明显偏高, 为 $17\ 400 \times 10^{-6} \sim 62\ 000 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$, 碳质岩型磷矿中 Ba 含量最高达 $62\ 000 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ 。

火山-硅质岩型磷矿 Ba 含量明显偏低, 为 $720 \times 10^{-6} \sim 5\ 400 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$, Sr/Ba 比值为 0.17~2.60。

对含矿岩系不同类型矿石微量元素经原始地幔标准化后作蛛网图(图 8), 不同类型岩矿石曲线形态基本一致, U、I、Ba 值为高值, Co、Se、B 值为低值, 且呈“W”形向左倾趋势。

4.2.3 稀土元素

稀土元素分析结果见表 7, 碳质岩型磷矿含磷岩石稀土总量为 $271.55 \times 10^{-6} \sim 696.24 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$, 含磷岩石稀土总量稍高, 比我国南方早寒武世黑色岩系的 $144.73 \times 10^{-6} \sim 226.70 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ 和北美页岩的 $200 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ ^[9] 含量高, 与南方早寒武世磷块岩的 $209.72 \times 10^{-6} \sim 476.75 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ ^[3] 接近, 但高于鄂西黑色岩系中的银钒矿石 $84.51 \times 10^{-6} \sim 152.23 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$ ^[10]。

轻重稀土分馏不明显, 重稀土含量高于轻稀土, LREE/HREE 比值为 0.37~0.71, La/Yb 为 0.73~1.73。球粒陨石标准化稀土配分曲线表现轻稀土段斜率大于重稀土段, 表明轻稀土分馏明显, 重稀土段分馏较差(图 9)。

含磷岩系中各种岩石 δCe 值均小于 1, Ce 呈明显负异常, 与 δCe 值不同, δEu 值变化不大, 为 0.80~0.98, Eu 负异常不明显。

表 6 微量元素结果表

Tab. 6 The analysis of trace elements

$\omega(B)/10^{-6}$

样号编号	类型	Sc	Cr	Co	Ni	Mo	Ga	Th	U	Rb	Nb	Ta	Se
TC-15-H2	碳质岩型磷矿	8.75	180	23.52	204	23.43	8.44	1.45	58.82	21.50	5.96	0.13	1.40
TC-20-H2	碳质岩型磷矿	5.79	122	4.46	44.00	12.61	3.10	1.27	51.63	7.27	1.12	0.10	4.79
TC-24-H2	碳质岩型磷矿	5.28	167	3.78	57.54	11.43	3.02	0.93	29.61	8.95	1.53	0.10	2.52
TC-3-H2	碳质岩型磷矿	8.86	180	8.38	141	26.12	6.47	7.96	46.6	22.5	5.95	0.23	8.54
TC-4-H2	碳质岩型磷矿	5.68	121	6.51	168	19.40	4.27	3.68	45.8	9.42	3.85	0.17	9.62
TC-5-H2	碳质岩型磷矿	8.36	121	3.03	34.92	4.50	6.25	3.47	34.34	10.62	4.04	0.13	2.46
TC-1-H2	火山硅质岩型	5.92	211	3.14	35.8	15.23	10.32	1.22	55.3	9.13	1.81	0.15	1.28
TC-7-H2	火山硅质岩型	5.38	324	14.73	104	34.32	17.81	2.32	162	17.53	2.38	0.27	4.09
TC-6-H2	火山硅质岩型	6.45	299	20.70	248	17.91	19.82	3.06	68.21	36.71	5.45	0.28	2.09

样号编号	类型	Zr	Hf	Br	I	V	Sr	B	F%	Ba
TC-15-H2	碳质岩型磷矿	35.71	1.03	5.88	15.93	946	2 686	35.11	2.61	20 200
TC-20-H2	碳质岩型磷矿	36.42	0.92	9.32	20.00	654	4 835	10.80	1.90	17 400
TC-24-H2	碳质岩型磷矿	35.90	0.86	6.61	27.81	476	2 241	3.50	2.63	23 800
TC-3-H2	碳质岩型磷矿	87.43	10.81	3.36	3.12	885	2 467	19.31	1.42	62 000
TC-4-H2	碳质岩型磷矿	70.14	11.62	5.25	4.50	537	2 543	13.90	1.35	41 800
TC-5-H2	碳质岩型磷矿	95.82	13.41	4.19	8.02	324	3 095	13.82	1.60	47 200
TC-1-H2	火山硅质岩型	31.31	1.11	0.84	7.92	767	424	11.32	1.93	1 300
TC-7-H2	火山-硅质岩型	34.11	3.07	0.52	8.74	1317	1 873	23.42	2.63	720
TC-6-H2	火山硅质岩型	52.43	1.65	2.86	6.16	1595	914	26.91	2.65	5 400

注:由中化地质矿山总局中心实验室分析(2010),分析方法:电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定,平均相对标准偏差 $<5\%$

火山-硅质岩型磷矿磷块岩稀土元素总量为 $948.78 \times 10^{-6} \sim 1629.25 \times 10^{-6} \mu\text{g/g}$, 明显高于其他类型沉积磷矿稀土元素的总量。轻重稀土分馏不明显, LREE/HREE 比值为 $0.84 \sim 0.99$, La/Yb 比值为 $3.25 \sim 4.09$ 。球粒陨石标准化稀土配分曲线表现轻稀土段斜率大于重稀土段, 表明轻稀土分馏明显, 重稀土段分馏较差(图 9)。

含磷岩石中 δCe 值均小于 1, 为 $0.37 \sim 0.42$, Ce 负异常明显, 与 δCe 值不同, δEu 值变化不大。

采用(Moller, 1976) Tb/Ca-Tb/La 关系图进行分析, 火山-硅质岩型磷矿成因判别图以 Tb/Ca、Tb/La 的原子数之比作为参数^[11], 其纵坐标(Tb/Ca)代表磷块岩形成的地球化学环境, 横坐标(Tb/La)表示稀土元素的分馏程度。将磷矿石的相关数据投入该图中, 样品均落入热液与气成因区(图 10), 表明本区磷块岩中稀土元素的来源与火山有关, 在磷矿沉积过程中, 火山物质的加入引起磷块岩稀土元素的变化, 致使样品反映为热液气成特征。

5 找矿远景区

乌什-柯坪聚磷区: 位于塔里木地台西北缘柯坪断隆, 含矿地层为下寒武统, 为早寒武世海浸初期形成

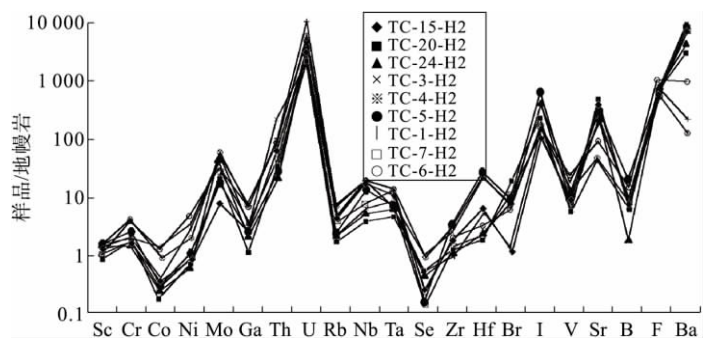


图 8 碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿微量元素蛛网图
Fig. 8 The spider diagram of trace elements in carbonaceous rock-type and volcano-silicolites-type phosphate beds

的,古地理条件为浅海陆棚边缘盆地,含磷岩系沉积建造由硅质岩—磷块岩—碳酸盐构成。成矿条件较差,磷矿层平均厚度约 1 m, P_2O_5 含量为 12%~14%,磷的含量低,钒含量已达工业品位,但目前磷钒均已开采利用,具有一定的工业价值。

表 7 稀土元素分析结果表
Tab. 7 The analysis result of REE

样号	矿石名称	$\omega(B)/10^{-6}$										
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
1	结核状磷块岩	22.71	63.51	8.70	43.72	10.51	2.30	9.16	2.01	14.51	3.34	9.28
2	结核状磷块岩	15.42	24.00	8.19	44.81	11.50	2.73	10.32	2.42	17.72	4.11	11.51
3	结核状磷块岩	18.91	38.82	6.67	32.23	7.30	1.85	6.92	1.50	10.83	2.51	7.07
4	块状磷块岩	25.23	40.41	14.91	85.50	24.62	6.47	20.50	4.88	35.61	8.02	22.2
5	结核状磷块岩	33.00	42.22	13.82	73.43	20.91	5.44	21.32	5.07	38.22	8.87	24.52
6	块状磷块岩	37.62	59.61	14.41	73.82	19.11	4.68	17.13	3.93	28.52	6.51	18.11
7	条带状磷块岩	142	118	31.00	134	27.72	6.30	25.24	5.18	36.01	8.09	23.01
8	条带状磷块岩	202	196	48.20	204	43.00	10.52	43.53	9.13	63.23	14.1	38.32
9	条带状磷块岩	182	214	62.20	279	59.82	12.11	48.81	9.94	65.44	14.2	38.92

样号	矿石名称	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	La/Yb	LREE/HREE	δ Ce	δ Eu
1	结核状磷块岩	1.34	7.80	1.22	166	366.05	1.73	0.71	0.94	0.80
2	结核状磷块岩	1.69	9.87	1.53	206	371.74	0.93	0.40	0.45	0.86
3	结核状磷块岩	1.03	6.05	0.95	129	271.55	1.85	0.64	0.72	0.89
4	块状磷块岩	3.35	20.24	3.22	332	647.24	0.73	0.44	0.43	0.98
5	结核状磷块岩	3.60	21.51	3.46	381	696.24	0.91	0.37	0.41	0.88
6	块状磷块岩	2.69	16.42	2.66	272	577.07	1.36	0.57	0.53	0.88
7	条带状磷块岩	3.39	20.63	3.32	365	948.78	4.09	0.94	0.37	0.81
8	条带状磷块岩	5.49	32.01	4.95	630	1 544.37	3.75	0.84	0.41	0.83
9	条带状磷块岩	5.55	33.22	5.16	599	1 629.25	3.25	0.99	0.42	0.76

注:1-6 号为碳质岩型,采自黑泥沟和大水矿区;7-9 号为火山-硅质岩型,采自木窝库都克矿区。分析方法:电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定,平均相对标准偏差 $<5\%$

苏盖特布拉克地区:含矿层分布长达 90 km,已形成矿床(点)5 处。含磷地层为肖尔布拉克组,与 P 伴生的有 V 和 U, V 分布于磷矿层、燧石条带和炭质页岩中,矿层厚度大于磷矿层厚度,一般为 1.5~2 m, V_2O_5 最高含量达 1% 以上。该区工作程度较低,有一定找矿前景。

库鲁克塔格聚磷区:位于塔里木地台东北部,含磷层位为下寒武统西山布拉克组,含磷岩系沉积建造由火山岩-硅质岩-磷块岩构成,其岩性为硅质岩、燧石层、含钒炭质页岩、灰岩和磷块岩,部分区域发育基性火山岩和凝灰岩。成矿条件与柯坪地区相似,磷矿品位中等,矿层厚度一般小于 1 m。扎伦库杜克以南地段 P_2O_5 含量达 30%,为下一步重点勘探区。

科古琴聚磷区:该成矿亚带分布于北天山西段的地向斜中。含磷岩系地层主要是下寒武统磷矿沟组(1~6 层矿)和中寒武统肯萨依组,分布于科古琴山分水岭两侧,含磷层长 90 km,宽 0.3~2.5 km 的窄长矿带。其中西部果子沟矿带长 10 km,东部塔尔恰特—科古琴矿带长 60 km。含矿层由硅质、钙质磷块岩、含磷砂岩、灰岩构成,矿石类型主要有硅质磷块岩、钙质磷块岩、含磷砂岩,其次有含磷灰岩。 P_2O_5 含量 8%~21%,多伴生有 Y、Yb、La 等元素,可进行综合开发利用。

平台山一方山口聚磷区:该成矿亚带位于新疆与甘肃两省交界处。区内主要磷矿床有平台山磷矿和方山口磷矿等 6 处,平台山磷矿属新疆哈密,而方山口磷矿则属甘肃敦煌。所在地质构造均为褶皱系的隆起

带,即马宗山一方山口隆起带。西段有平台山、大水和尖山3个磷矿床,含磷岩系为下寒武统双鹰山组,矿层厚0.16~8.19 m,矿石品位8%~23%,平均12%。东段有方山口、七角井子、西双鹰山等3个磷矿床,含磷岩系为下寒武统双鹰山组,矿层厚一般1.5~2.5 m,最厚达11.59 m,品位8.4%~31.6%,平均品位11.49%。矿层上覆的碳质板岩含钒, V_2O_5 含量为0.534%~0.856%,为一大型磷钒矿床。

6 结语

天山地区含磷岩系与中国其他地区下寒武统含磷岩系基本属同一时代沉积的产物,含矿建造沉积构成分为三大类:

一是碎屑岩系;二是黑色岩系;三是火山-硅质岩系。与此三类含磷岩系相伴生,形成了碎屑岩型含 Yb、La 磷矿床,黑色碳质岩型含 V、U 磷矿床以及火山-硅质岩型含 Mo、Ni 磷矿床。

黑色碳质岩型磷矿是一个以 P 为主,兼含 V、U 的多元素共生矿床。钒矿主要呈层状和似层状产出,磷矿层多呈似层状和透镜状,而 U 则伴随 P、V 矿床产出。

矿床地球化学研究表明,碎屑岩型磷矿 MgO 含量明显偏低, Ba 含量偏高。碳质岩型磷矿中 V、U 含量高;火山-硅质岩型磷矿 Ba 含量则明显偏低, Ni 含量偏高。这些特征反映了成矿物质来源的差异。

碎屑岩型磷矿稀土元素表现为 Eu 异常明显, Ce 基本无异常 (δCe 为 0.85~0.86)。磷块岩成矿特征反映了磷矿沉积于相对近海的潮间与浪积面以下环境。Ba 异常的产生,说明在磷矿沉积过程中有含矿热卤水的加入;碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿 Eu 异常不明显,而 Ce 异常明显。以上为沉积古地理和水体介质变化的稀土地球化学响应特征。反映该类磷矿沉积环境可能为一种潮下封闭环境:库鲁克塔格一带火山活动较为频繁,部分含磷岩系中出现较多的火山岩,含磷岩组与硅质岩或燧石层共生,火山喷发作用与火山物质的加入,致使成矿环境发生了变化,在磷块岩成矿过程中可能带来部分 Mo、Ni 等物质。

总之,天山地区磷块岩的形成,主要是上升洋流将深部磷质带到海水比较浅的环境下,在遇到水下具有古隆起的区域时,富磷溶液在水流扰动下磷酸盐达到过饱和,围绕磷质或其他质点形成团粒、鲕粒或结核沉淀,形成了早寒武世早期的含磷岩系,在不同的古地理微环境内形成了碎屑岩型、碳质岩型和火山-硅质岩型3种不同类型的磷矿床。

参考文献:

[1]赵省民,聂风军,江思宏. 敦煌方山口大型磷钒矿床的地质特征及成因[J]. 地球学报, 2002, 23(3): 207-212.

ZHAO Xingmin, NIE Fengjun, JIANG Sihong. Geological features and origin of the Fangshankou large-scale V-P-U deposit

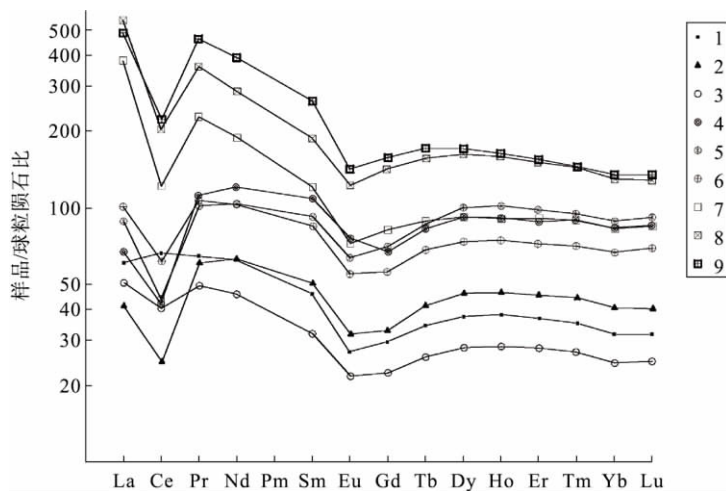


图9 碳质岩型和火山-硅质岩型磷矿稀土元素分布模式(样号同表7)

Fig. 9 The REE distribution patterns of carbonaceous rock-type and volcano-silicolites-type phosphate beds

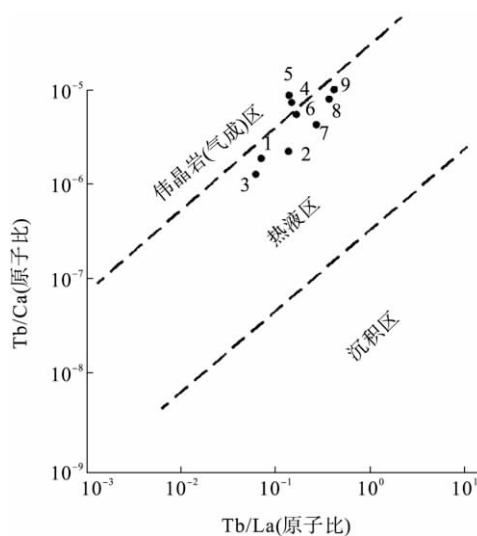


图10 磷块岩的 Tb/Ca-Tb/La 关系图
(据 Moller 1976, 样号同表 7)

Fig. 10 The relationship of Tb/Ca-Tb/La in phosphate rocks (after Moller 1976)

- in Dunhuang, Gansu province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(3): 207-212.
- [2] 夏学惠, 袁俊宏, 杜家海, 等. 中国沉积磷矿床分布特征及资源潜力[J]. *武汉工程大学学报*, 2011, 33(2): 6-11.
XIA Xuehui, YUAN Junhong, DU Jiahai, et al. Distribution characteristics and resource potential of sedimentary phosphatite deposits in China[J]. *Journal of Wuhan Institute of Technology*, 2011, 33(2): 6-11.
- [3] 叶连俊, 陈友明, 赵东旭, 等. 中国磷块岩[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [4] 东野脉兴. 扬子地块陡山沱期与梅树村期磷矿区域成矿规律[J]. *化工矿产地质*, 2001, 23(4): 193-209.
DONGYE Maixing. Regional ore-forming regulation of phosphorite in Yangtze massif in the times of doushantuo and meishucun ages[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2001, 23(4): 193-209.
- [5] 施春华, 胡瑞忠, 王国芝. 贵州织金磷矿岩稀土元素地球化学特征研究[J]. *矿物岩石*, 2004, 24(4): 71-75.
SHI Chunhua, HU Ruzhong, WANG Guozhi. Study on REE geochemistry of Zhijin phosphorites, Guizhou province[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2004, 24(4): 71-75.
- [6] 沈百花, 李强. 新疆与哈萨克斯坦寒武纪磷块岩资源[J]. *新疆地质*, 2008, 26(4): 399-411.
SHEN Baihua, LI Qiang. The Cambrian phosphorite resources between Xinjiang and Kazakhstan[J]. *Xinjiang Geology*, 2008, 26(4): 399-411.
- [7] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造及演化[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [8] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [9] 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [10] 张乾, 董振生, 战新志. 鄂西白果园黑色页岩型银钒矿床地球化学特征[J]. *矿物学报*, 1995, 16(2): 185-191.
ZHANG Qian, DONG Zhensheng, ZHAN Xinzhi. Geochemical characteristics of Baiguoyuan black shale-type Ag-V deposit in western Hubei province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1995, 16(2): 185-191.
- [11] MOLLER P, PAREKH P P, SCHNEIDER H J. The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluospar genesis[J]. *Mineral Deposita*, 1976, 11: 111-116.

“沉积·资源·环境”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表, 并实行优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkglhxx@163.com; zkzxcg@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859