

黑龙江东部马家街群的岩石地球化学特征及其沉积时代

黄映聪¹⁾, 张兴洲¹⁾, 张宏宾²⁾, 熊小松³⁾, 刘昌林⁴⁾, 赵亮亮¹⁾

1) 吉林大学地球科学学院, 长春, 130061; 2) 有色金属华东地质勘查局, 南京, 210007;

3) 中国地质科学院, 北京, 100037; 4) 江汉油田江汉采油厂, 湖北潜江, 433123

内容提要:位于黑龙江省东部的马家街群主体岩性为变泥质岩, 对其进行主量和痕量元素分析, SiO_2 含量为 61.5%~77.68%, Al_2O_3 含量为 9.74%~21.08%, K_2O 含量为 2.73%~6.34%, Na_2O 含量为 0.1%~2.66%, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 6.55 \sim 10.79$, $\text{Eu}/^*\text{Eu} = 0.45 \sim 0.64$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.28 \sim 1.94$, 表明马家街群物源主要来自长英质岩石组成的后太古宙上陆壳, 并具有大陆岛弧性质。通过对马家街群下伏基底片麻岩进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年, 11 颗锆石的定年结果显示, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 499~508Ma, 加权平均年龄为 $504 \pm 2\text{Ma}$ ($n = 11$, $\text{MSWD} = 0.44$); 定年的锆石晶形较好, 具震荡生长环带, 属典型的岩浆成因, 因此 $504 \pm 2\text{Ma}$ 这一年龄代表了花岗片麻岩原岩形成时代, 而变质时代则应更晚, 表明沉积在基底片麻岩之上的马家街群形成时代在晚寒武世之后。马家街群的地球化学特征及其下伏片麻岩年代学的特点, 反映了物源区可能来自于泛非期佳木斯地块与相邻地块拼合而成的稳定陆块。

关键词: 佳木斯地块; 桦南隆起; 马家街群; 泛非期; 古生代

佳木斯地块是东北地区的一个重要构造单元, 正确认识其构造演化历史对探讨东北地区古生代大地构造格局具有重要意义。近年来尽管对佳木斯地块同位素年代学研究方面取得了一系列的成果(张兴洲, 1992; 李锦轶等, 1999; Wilde, 2001; Wu et al., 2007; Meng et al., 2008), 但对佳木斯地块构造属性的认识, 即它是属于古亚洲洋构造域(张兴洲, 1992; Li et al., 2006) 还是属于太平洋构造域(Wu et al., 2007) 一直存在比较大的争论。

马家街群主要分布在黑龙江省东部佳木斯地块桦南隆起上, 为一套经历过接触变质作用的浅变质岩系, 其时代归属一直存在争议, 如震旦纪(黑龙江区域地层表编写组, 1979)、晚元古代(黑龙江省地矿局, 1993) 或者划归麻山群(曹瑞骥等, 1982), 且对马家街群形成的构造背景前人也很少涉及, 这制约了对区域构造演化历史的认识。随着麻山群泛非期变质作用(Wilde, 2001) 及佳木斯地块及邻区古生代构造热事件的确定(孙德有等, 2001; 刘建锋等, 2008; Meng En et al., 2008), 使得有必要重新认识马家街群的归属问题。本文根据马家街群主体岩石

的地球化学特征探讨马家街群物源区构造背景, 通过对马家街群下伏基底花岗片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 微区定年, 确定其形成时代, 从而限定马家街群沉积时代的下限, 进而挖掘马家街群在佳木斯地块构造演化过程中所记录的信息, 为深入研究佳木斯地块古生代构造演化提供依据。

1 地质背景

桦南隆起位于黑龙江省东部(图 1), 是佳木斯地块的重要组成部分, 主要由麻山群、黑龙江群、马家街群组成(黑龙江省地矿局, 1993; 王友勤, 1996)。麻山群主要岩石类型有透辉大理岩、矽线片岩-片麻岩、石墨片岩、云母(石英)片岩、斜长角闪岩和混合花岗岩, 变质程度达到麻粒岩相和高角闪岩相, 该套岩群现在被认为是佳木斯地块在泛非期造山过程中形成的, 该群在桦南隆起出露岩性以花岗片麻岩和混合花岗岩为主。黑龙江群主要岩石类型有钠长片岩、云母片岩、绿泥石片岩、透闪石片岩、阳起石片岩等, 这些岩石经历了蓝片岩相-绿片岩相和绿片岩相-低角闪石相多期变质作用, 多遭受韧性变形作用

注: 本文为国家自然科学基金重点项目兴蒙海槽晚古生代构造演化(编号 40739905)资助的成果。

收稿日期: 2007-11-28; 改回日期: 2008-10-11; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 黄映聪, 男, 1979 年生。博士研究生, 构造地质学专业。Email: huangyingcong@126.com。

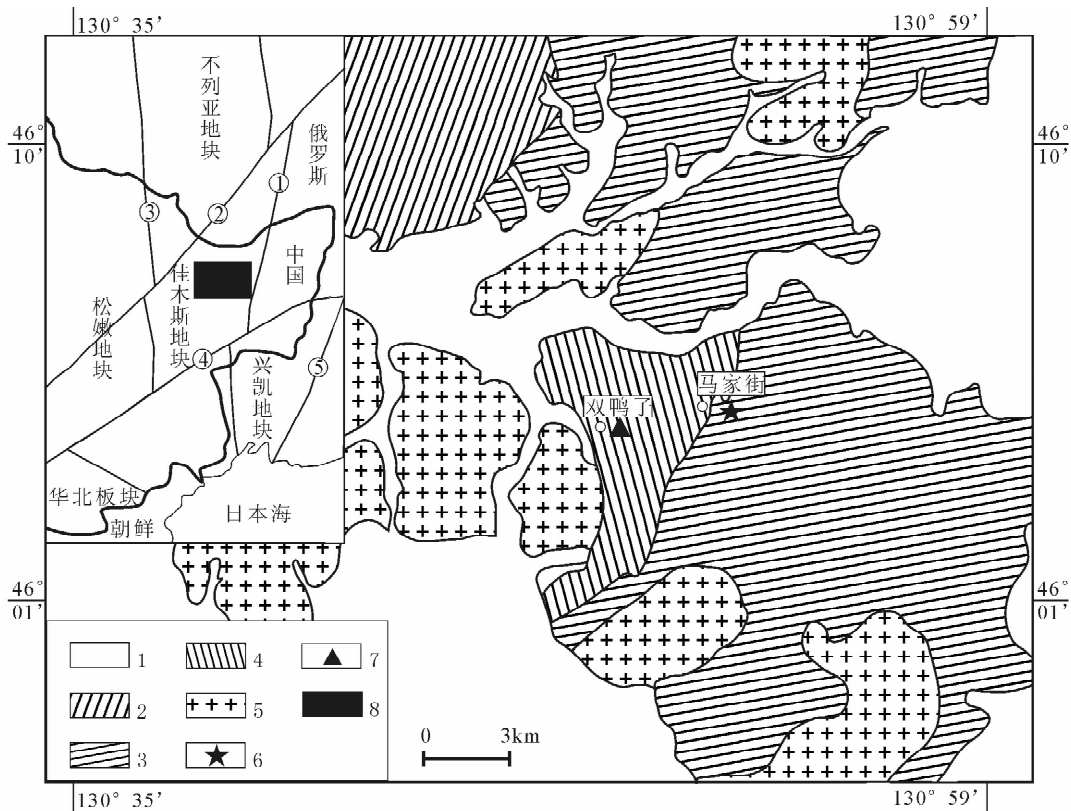


图 1 桦南隆起西南部地区地质略图(据黑龙江省地质局第一区域地质测量队,1977^⑨修改)

Fig.1 Geological sketch map of the Huanan uplift

1—中生代岩石;2—黑龙江群;3—麻山群;4—马家街群;5—晚古生代花岗岩;6—锆石采样点;7—马家街群采样点;8—研究区位置;
①—同江-当壁断裂;②—佳依断裂;③—牡丹江断裂;④—敦密断裂;⑤—中锡霍特阿林断裂
1—Mesozoic and Cenozoic rocks;2—Heilongjiang Group;3—Mashan Group;4—Majiajie Group;5—Neopaleozoic granite;6—zircon
sampling place;7—sampling place of Majie Group;8—research area; ①—Tongjiang-Dangbi fault; ②—Jiamusi-Yilan fault; ③—
Mudanjiang fault; ④—Dunhua-Mishan fault; ⑤—Central Xihuote fault

而形成各种糜棱岩,该套岩群现在被认为是一套与缝合带有关的混杂岩(张兴州,1992;曹熹等,1992;Wu et al.,2007)。与黑龙江群和麻山群显著不同,马家街群为一套经历浅变质作用的高碳富铝的粘土质岩石,出露于桦南隆起双鸭子、马家街一带,北西西走向,与下伏花岗岩片麻岩(麻山群)为沉积接触关系。该群岩石类型主要有十字石二云片岩、红柱石炭质板岩、炭质千枚岩、炭质板岩、灰色千枚岩、黑云石英片岩、二云母片岩,另外还含有部分石英砂岩和结晶灰岩,大部分变质岩含有空晶石和石榴石等矿物,区域上由西向东呈现十字石、红柱石、石榴石和黑云母分带的特征,显示了接触变质作用的特征。马家街群西侧分布的岩体为花岗闪长岩,主要矿物组合黑云母、角闪石、斜长石、石英和钾长石及磷灰石、锆石和榍石等副矿物,该岩体的侵入是马家街群发生接触变质的直接原因^⑨。

2 地球化学特征

2.1 分析方法

马家街群分析样品采自黑龙江省东部桦南隆起双鸭子地区(图 1),岩性主要为泥质变质岩(板岩、千枚岩和云母片岩),挑选新鲜的样品,然后将其粉碎至 200 目,主量和痕量元素测试由吉林大学测试科学中心完成,主量元素分析采用的方法为 X-射线荧光熔片法,仪器为日本理光 3080E1 型波长色散 X-射线荧光光谱仪,分析精度优于 0.3%~0.9%,分析结果见表 1。痕量元素采用的方法为等离子体质谱法(ICP-MS),分析结果的相对偏差小于 5%,总体分析结果可靠。测试结果见表 2,详细的分析流程和测试精度见文献(Lin et al.,2000)。

2.2 主量元素

从表1中可以看出,马家街群分析样品的主量

表 1 马家街群主量元素分析结果(%)

Table 1 Major Elements analysis result of Majiajie Group(%)

Sample	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ T	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
D127	十字二云片岩	73.04	0.6	15.23	0.85	0.03	0.5	0.21	0.44	3.68	0.5	4.91	99.69
D133	灰色千枚岩	62.82	0.6	21.08	2.93	0.04	1.45	0.95	1.96	5.7	0.25	1.7	99.48
D134	炭质千枚岩	77.68	0.36	9.74	0.25	0.01	0.7	0.01	0.1	3	0.1	7.64	99.82
D134-2	黑云石英片岩	61.5	0.9	20.16	4.56	0.03	0.75	0.22	0.46	6.34	0.25	4.47	99.64
D135-1	炭质板岩	73.2	0.4	11.82	2.86	0.02	0.55	0.54	1.76	2.73	0.2	5.73	99.81
SY01-2	二云片岩	67.82	1	17.84	5.27	0.01	0.57	1	0.25	4.32	0.04	2.16	100.28
SY05-1	红柱石炭质板岩	62.34	0.7	17.42	6.63	0.05	1.56	0.74	2.66	5.52	0.12	2.63	100.37

表 2 马家街群稀土和微量元素 ICPMS 分析结果(×10⁻⁶)

Table 2 REE and trace elements ICPMS analysis of Majiajie Group(×10⁻⁶)

样号	SY01-2	SY05-1	D135-1	D133	D134-2	D127	D134
岩石名称	二云片岩	红柱石炭质板岩	炭质板岩	灰色千枚岩	黑云石英片岩	十字石二云片岩	炭质千枚岩
La	51.79	46.91	53.34	49.12	42.52	50.75	50.07
Ce	100.5	92.81	103.5	103.4	85.15	106.7	97
Pr	12.38	11.41	11.44	11.57	10.4	12.43	11.96
Nd	47.93	44.71	45	43.14	40.38	49.16	47.24
Sm	9.16	8.69	8.02	7.12	7.54	9.45	8.64
Eu	1.47	1.48	1.14	1.37	1.3	1.61	1.56
Gd	7.72	7.48	7.32	5.53	6.93	8.48	7.5
Tb	1.09	1.07	1.1	0.76	1.08	1.15	0.94
Dy	6.74	6.79	6.79	4.65	6.7	6.64	5.19
Ho	1.33	1.33	1.39	1.01	1.41	1.35	1.05
Er	3.83	3.89	4.06	3.15	4.11	3.8	3.04
Tm	0.57	0.59	0.62	0.54	0.64	0.56	0.48
Yb	3.46	3.66	3.99	3.77	4.38	3.78	3.13
Lu	0.51	0.55	0.52	0.52	0.59	0.48	0.42
ΣREE	248.48	231.34	248.23	235.65	213.12	256.36	238.21
ΣLREE/ ΣHREE	8.84	8.13	8.62	10.83	7.25	8.76	9.96
(La/Sm) _N	3.56	3.4	4.18	4.34	3.55	3.38	3.64
(La/Yb) _N	10.1	8.7	9	8.78	6.55	9.06	10.79
(Gd/Yb) _N	1.8	1.66	1.48	1.18	1.28	1.81	1.94
(Gd/Lu) _N	1.88	1.7	1.74	1.31	1.46	2.17	2.23
Eu/Eu*	0.52	0.55	0.45	0.64	0.54	0.54	0.58
Ce/Ce*	0.93	0.94	0.96	1.01	0.95	0.99	0.93
Rb	177	280	109.9	209.8	305.9	206.3	145.7
Sr	79.65	66.85	36.36	116.3	57.74	70.4	22.79
Y	33.59	36.26	38.55	24.35	34.42	35.16	29.31
Ba	533.4	535.4	483.8	1255	973.4	550.1	866.8
Nb	21.52	18.11	15.42	21.89	21.75	16.25	15.66
Ta	1.42	1.21	1.482	2.22	2.14	1.482	1.4
Zr	241.3	172.1	159.8	233.6	189.7	229.7	138.4
Hf	7.26	5.14	4.417	7.347	5.46	6.3	4.075
V	242.9	186.3	512.5	267	204.3	208.4	321.6
Th	16.52	13.8	11.74	16.87	15.06	13.45	10.43
U	3.04	2.65	6.33	3.769	3.64	2.783	3.71
Cr	88	86.3	87.24	89.87	103.4	87.26	83.3
Sc	13.07	18.87	12.87	14.93	18.75	12.94	8.45
Ni	0.92	26.66	3.316	25.21	5.046	24.478	12.31
Co	0.3	12.06	2.09	8.156	10.07	9.76	8.05

元素成分无太大变化,除两个样品 SiO₂ 高于 70% 外,其他的 SiO₂ 含量在 60%~70% 之间,总的 SiO₂ 平均含量为 68.34%,Al₂O₃ 的含量较高,介于 9.74%~21.08% 之间,总的平均含量为 16.18%,Al₂O₃/SiO₂=0.12~0.33,K₂O 的含量(2.73%~6.34%)高于 Na₂O 的含量(0.1%~2.66%),CaO 的含量一般较低,不超过 1%,在 F₁-F₂ 图解(图 2a)中显示,马家街群原岩来自于长英质火成物源区。

2.3 痕量元素

从稀土元素和微量元素测试结果(表 2)中可以

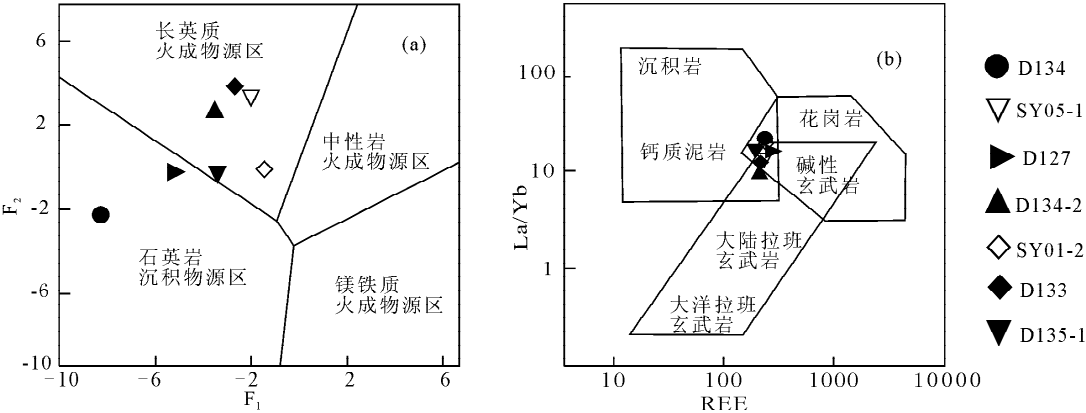


图 2 马家街群物源区判别图解

Fig. 2 The provenance discriminant digram of Majiajie Group

(a)—据 Rose 等(1988), $F_1 = -1.773\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09$;
 $F_2 = 0.445\text{TiO}_2 + 0.07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.142\text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475\text{Na}_2\text{O} + 1.426\text{K}_2\text{O} - 6.861$; (b)—据 Allegre 等(1978)
(a)—After Rose et al. (1988); (b)—after Allegre et al. (1978)

看出,除一个样品稀土总量较低外,绝大多数样品的稀土总量(ΣREE)较高,为 $(235.64\sim256.35)\times10^{-6}$,富集轻稀土元素(LREE)($187.29\sim230.10)\times10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}=7.25\sim10.83$,平均值为8.91,轻重稀土分馏明显,稀土配分曲线表现为右倾型(图2a)。 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Sm})_{\text{N}}$ 在3.4~4.18之间, $w(\text{Gd})_{\text{N}}/w(\text{Lu})_{\text{N}}$ 在1.31~2.23之间,表明轻稀土配分曲线右倾明显,重稀土配分曲线相对平坦。 $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.45\sim0.64$,具有明显的负Eu异常, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=6.55\sim10.79$,平均值为9.00; $\text{Ce}/\text{Ce}^*=0.93\sim1.01$,铈无明显异常。马家街群稀土元素在球粒陨石标准化(图3a)图解中与PAAS(澳大利亚后太古宙平均页岩)和NASC(北美页岩)(图3a中阴影区域)的稀土配分模式相同,稀土总量较高,平均为PAAS(183.0×10^{-6})的1.3倍、NASC(173.2×10^{-6})的1.37倍、全球平均大陆上地壳成

分UCC(146.4×10^{-6})的1.6倍(Hugh R. Rollison,1992)。从微量元素蛛网图(图3b)可以看出,所有样品微量元素含量具有一致性,富集Ba、Th、Zr和Hf等,亏损Rb、Sr、Y等元素。

3 锆石测年

3.1 分析方法

用作锆石U-Pb定年的花岗片麻岩样品采自马家街附近(图1)。样品破碎和锆石挑选由河北省廊坊区域地质调查所实验室完成。通过对反射光、透射光和阴极发光图像分析,在西北大学大陆动力学教育部重点实验室按照标准测定程序采用激光剥蚀等离子体质谱技术(LA-ICP-MS)对锆石进行微区原位单点U-Pb同位素定年,应用标准锆石91500进行分馏校正,采用Glitter(ver4.0,Macquarie University)程序对测定的同位素比值及元素含量进

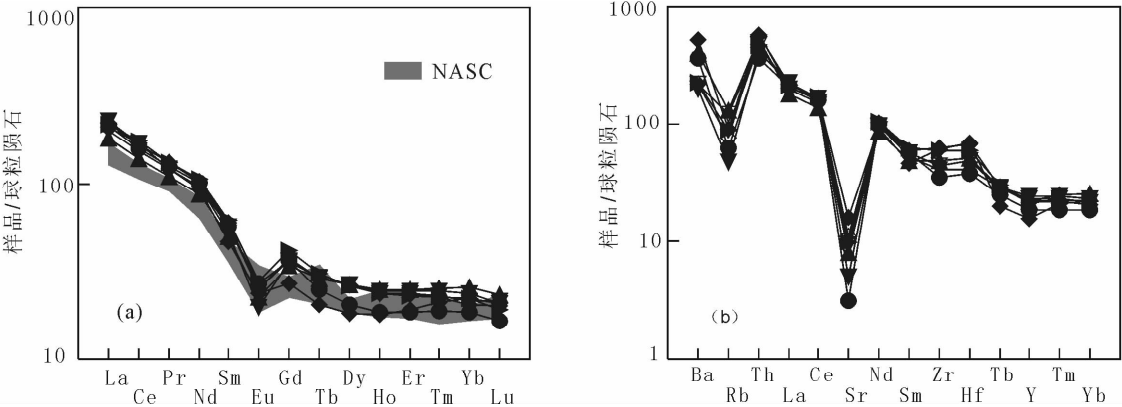


图 3 马家街群稀土元素球粒陨石(a)和微量元素球粒陨石(b)标准化曲线图(据 Boynton, 1984)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE (a) and trace elements (b) diagrams of Majiajie Group (after Boynton, 1984)

行计算,并按照 Andersen Tom 的方法 (Andersen, 2002),用 LAM-ICP MS Common Lead Correction (ver3.15) 对其进行了普通铅校正,数据的处理和谐和图绘制采用 Isoplot3.0 (Ludwig, 1994) 完成,单个数据点的误差为 1σ ,测试结果见表 3,详细的实验原理及流程见文献 (Yuan et al., 2004)。

3.2 分析结果

从锆石 U-Pb 谐和图 (图 4) 可以看出,22 个测点主要形成两组年龄,表明其经历了两期热事件。其中 11 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 499~508Ma 之间,加权平均年龄为 $504 \pm 2\text{Ma}$ ($n=11$, $\text{MSWD}=0.44$);另外 10 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 557~563Ma 之间,加权平均年龄为 $560 \pm 2\text{Ma}$,此外还有一颗锆石的年龄为 1014Ma。前人研究表明,不同成因锆石具有不同的 Th、U 含量及 Th/U 比值,岩浆成因锆石的典型 Th/U 比值介于 0.1~1.0 (Belousova E A et al., 2002),而变质成因锆石的 Th/U 比值一般低于 0.1,从表 3 可以看出,所测锆石 Th/U 低于 0.1 的仅占少数,而从锆石 CL 图像可以看出,绝大多数锆石的晶形较好,且震荡环带比较清楚,具有典型岩浆成因的特征。因此认为,本次获得锆石的 $504 \pm 2\text{Ma}$ 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄代表了花岗片麻岩原岩形成时代, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $560 \pm 2\text{Ma}$ 的锆石可能是捕获围岩的锆石,而导致部分锆石 Th/U 低于 0.1,可能是在后期变质作用过程中同位素体系受到破坏所致。

4 物源区构造背景

REE 通常被认为是最不易溶解的微量元素,它们在低级变质作用、风化作用和热液蚀变作用中保持相对的不活泼性 (Michard, 1989),因此,蚀变轻微的岩石的 REE 形式可以代表未蚀变原岩的 REE 特征 (Humphries, 1984)。碎屑岩的 REE 含量主要受控于物源区岩石成分 (McLennan, 1989),因此其 REE 含量可以反映物源区大地构造背景特征。如表示 Eu 异常程度的 Eu/Eu^* 比值在稀土元素地球

化学参数中占有重要的地位,它可以灵敏地反映体系内的地球化学状态,并可作为鉴别物质来源的重要参数,如中性斜长岩一般具有铕正异常,玄武岩大多没有铕异常,而花岗岩多为铕负异常 (王清晨等, 1996)。Bhatia 等 (Bhatia, 1983; Bhatia, 1985) 给出的沉积岩 La-Sc-Th 和 Th-Co-Zr/10 三相判别图解也成为判别沉积岩物源区构造背景的重要方法,得到了地质学界的认可和广泛应用,并取得了较好的效果 (Blanca Bauluz, 2000; 王全伟等, 2001; 和政军等, 2003)。组成马家街群的岩石大部分为经历热接触变质作用的泥质岩石,野外地质调查及镜下观察表明,这套板岩、千枚岩、片岩在变质过程中未经历热液交代的现象,变质程度较低,因而其微量元素所记录的物源区大地构造背景信息在整个浅变质过程中可认为保持不变,因而适宜运用痕量元素判别图解探讨其物源区构造背景。

沉积岩中 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值可以反映母岩的特点,太古宙地层的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值常大于 2.0,后太古宙年轻地层 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值常小于 2.0 (Taylor and McLennan, 1985)。马家街群样品 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 1.28~1.94,均值为 1.59,小于 2.0,表明其母岩来自于年轻的后太古宙上陆壳。上地壳中大离子亲石元素的含量相对于原始地幔明显偏高,轻重稀土分异明显,元素分异作用使下地壳中 Eu 元素富集而上地壳中 Eu 元素亏损,因而上地壳表现出明显的 Eu 的负异常 (McLennan et al., 1993)。马家街群的稀土配分模式呈轻稀土富集、重稀土亏损与明显的 Eu 负异常 (图 3a),这表明其主要物质来源于上地壳。根据稀土总量 (ΣREE) 与 La/Yb 比值进行投影的结果,马家街群数据点落在沉积岩、花岗岩与玄武岩交汇区域 (图 2b),由于马家街群 Eu/Eu^* 为 0.45~0.64,平均为 0.54,显示明显的 Eu 负异常,而花岗岩多具有 Eu 负异常的特征 (王清晨等, 1996),因此认为马家街群的源岩可能主要为花岗岩。

在 Th-Hf-Co (图 6a) 图解中,马家街群样品都落在或靠近平均上陆壳 (UC) 区域,而远离平均总陆壳 (TC) 和平均洋壳 (OC) 区域,这说明马家街群物源区主要来自上陆壳。在 La-Th-Sc 图 (图 6b) 中,有四个样品落在大陆岛弧区内,一个样品落在大陆岛弧区边缘,另外两个样品落在区外,但都靠近大陆岛弧区域;在 Th-Co-Zr/10 图解 (图 6c) 中,绝大多数样品落在大陆岛弧区,显示其性质与大陆岛弧非常接近。上述特征表明马家街群物源区构造背景可能具有大陆岛弧的特征。

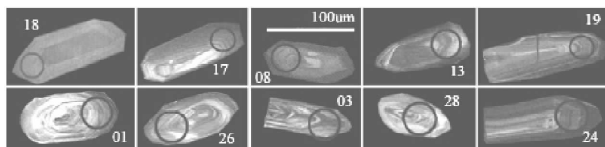


图 4 马家街花岗片麻岩单颗粒锆石代表性 CL 图像

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from Majiajie granite gneiss

1

表 3 马家街花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果
Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical results of the Majajie granite gneiss

测点	Pb* (%)	Th ²³² (×10 ⁻⁶)	U ²³⁸ (×10 ⁻⁶)	Th/U	同位素年龄 (Ma)			同位素比值						
					207Pb/ ²³⁵ U	1σ	206Pb/ ²³⁸ U	1σ	207Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	207Pb/ ²³⁵ U	1σ	206Pb/ ²³⁸ U	
06SY04-01	64.75	72.09	297.20	0.24256	1010	6	1014	6	0.07253	0.00085	1.70339	0.0151	0.17038	0.00117
06SY04-03	128.64	95.00	1306.98	0.07269	507	4	503	3	0.05786	0.00072	0.6474	0.00628	0.08118	0.00056
06SY04-02	217.27	75.81	380.25	0.19937	500	10	499	4	0.05731	0.00153	0.6363	0.01616	0.08052	0.00068
06SY04-04	249.21	95.81	432.97	0.22129	513	21	505	7	0.05845	0.00313	0.65717	0.03408	0.08156	0.00119
06SY04-05	47.34	141.96	447.39	0.31731	520	5	503	3	0.05984	0.00081	0.66936	0.00742	0.08114	0.00057
06SY04-24	3812.73	453.43	7071.96	0.06412	503	3	506	3	0.05695	0.00066	0.64122	0.00563	0.08167	0.00055
06SY04-08	214.97	137.97	1936.16	0.07126	559	4	561	4	0.05857	0.00066	0.73476	0.00611	0.09099	0.00062
06SY04-09	846.30	204.93	1522.69	0.13458	512	5	507	3	0.05808	0.0008	0.65522	0.00787	0.08182	0.00056
06SY04-10	53.13	79.07	464.18	0.17034	568	5	560	4	0.05995	0.00088	0.75039	0.00927	0.09078	0.00065
06SY04-11	100.53	104.61	897.63	0.11654	558	4	561	4	0.05842	0.00066	0.7321	0.00616	0.09088	0.00062
06SY04-12	63.97	72.43	570.79	0.12689	549	4	559	4	0.05749	0.00067	0.71796	0.00639	0.09056	0.00062
06SY04-13	53.71	125.54	457.09	0.27465	579	5	558	4	0.06167	0.0008	0.7695	0.0081	0.09048	0.00063
06SY04-16	276.22	178.49	2448.34	0.0729	579	3	560	4	0.06131	0.00063	0.76783	0.00557	0.09081	0.00061
06SY04-17	38.55	63.89	330.39	0.19338	568	5	560	4	0.05987	0.0008	0.74924	0.00831	0.09075	0.00064
06SY04-18	66.65	157.03	563.18	0.27883	551	5	563	4	0.05719	0.00079	0.71996	0.00837	0.09128	0.00065
06SY04-19	43.31	70.95	375.67	0.18886	550	4	559	4	0.05748	0.00071	0.7181	0.00704	0.09059	0.00063
06SY04-26	5191.26	430.79	9707.38	0.04438	509	3	504	3	0.05808	0.00061	0.65162	0.00485	0.08135	0.00055
06SY04-22	164.80	147	1460.94	0.10062	551	4	562	4	0.05744	0.00067	0.72117	0.00645	0.09104	0.00063
06SY04-23	127.087	78.56	207.32	0.37893	491	10	505	5	0.05534	0.00156	0.62219	0.01664	0.08152	0.00077
06SY04-07	402.64	126.55	711.62	0.17783	508	7	502	4	0.05806	0.0011	0.64889	0.01115	0.08104	0.00064
06SY04-25	353.67	89.59	634.15	0.14128	557	3	557	4	0.05873	0.00063	0.73035	0.0058	0.09017	0.00061
06SY04-20	60.93	112.21	524.02	0.21413	508	11	508	5	0.05751	0.00172	0.64996	0.0184	0.08193	0.00081
06SY04-28	246.23	117.91	416.80	0.28289	510	10	502	4	0.05847	0.00148	0.65249	0.01562	0.08094	0.00068

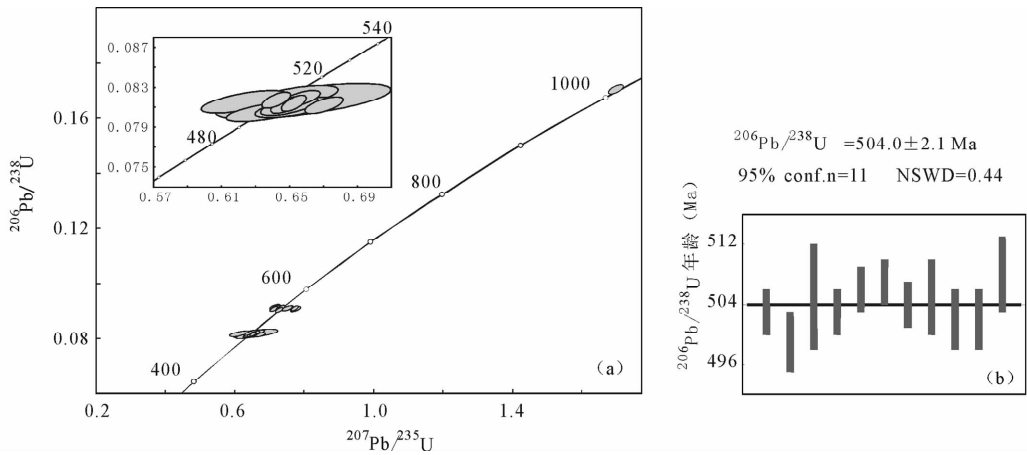


图 5 马家街花岗片麻岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图(a)和加权平均值(b)

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb Concordia diagram(a)and weighted mean age(b) of Majiajie granite gneiss

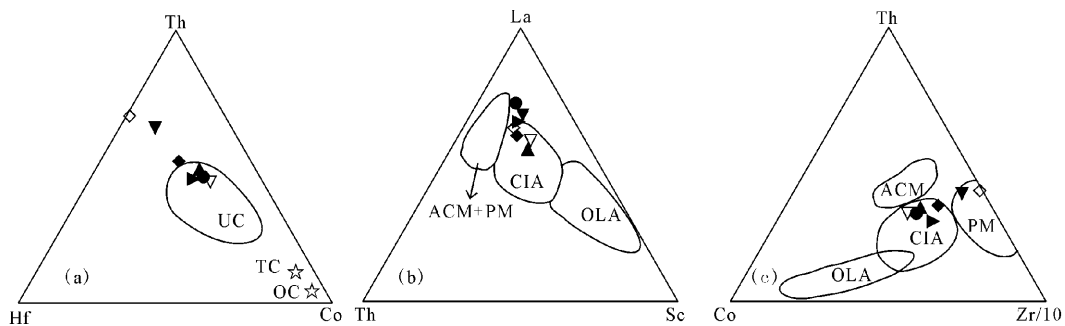


图 6 马家街群 Th-Hf-Co(Taylor S R,1985)、La-Th-Sc(Bhatia,1986)和 Th-Co-Zr(Bhatia,1986)判别图解

Fig. 6 The discriminant diagrams using Th-Hf-Co,La-Th-Sc and The-Co-Zr for the tectonic setting of Majiajie Group

UC—平均上陆壳; TC—平均总陆壳; OC—平均洋壳; ACM—活动大陆边缘; PM—被动大陆边缘; CIA—大陆岛弧; OIA—大洋岛弧
UC—Upper Crust; TC—Total Crust; OC—Oceanic Crust; ACM—active continental margin; PM—passive margin setting;
CIA—continental island arc; OIA—oceanic island arc

5 马家街群的沉积时代

马家街群在桦南隆起出露范围狭窄, 横向延伸有限, 前人一般将其置于震旦纪或晚元古代(黑龙江省地矿局, 1993), 也有人将其看作麻山群的一部分, 但都缺少精确的年代学证据。马家街群为一套经历过接触变质作用的岩石, 沉积于麻山群之上, 与变质程度达到麻粒岩相、高角闪岩相的麻山群具有截然不同的变质特征, 变质程度明显低于后者, 因而马家街群的形成时代较之麻山群晚得多。从而确定下伏花岗片麻岩的时代, 就可以限定马家街群沉积时代的下限。

现有资料认为马家街群下伏花岗片麻岩形成时代为中元古代(黑龙江省地矿局, 1993), 本文对其进行 U-Pb 微区定年获得的结果为 $504 \pm 2\text{Ma}$, 结合锆石的形态特征认为, 该年龄可能代表原岩的形成时代, 而花岗片麻岩的形成一定晚于这个年龄, 那么

作为沉积在花岗片麻岩之上的马家街群, 其沉积作用则比花岗片麻岩的形成时代更晚。前人研究表明^①, 马家街群西侧分布有大面积的花岗岩, 它们的侵位是造成马家街群发生接触变质作用的直接原因。前人认为这些岩体形成于新元古代(黑龙江省地矿局, 1993), 近来对该岩体进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年获得的年龄为 $259 \pm 4\text{Ma}$ (黄映聪等, 2008), 表明马家街群发生接触变质作用的时代为中二叠世, 因此马家街群沉积时代应介于晚寒武世和中二叠世之间, 但由于马家街群这套岩石中迄今没有发现其含任何化石证据, 因而无法从古生物学方面限定其准确时代。

6 讨论与结论

兴蒙-吉黑地区显生宙岩浆活动频繁, $470 \sim 520\text{Ma}$ 为花岗岩侵入峰期, $350 \sim 450\text{Ma}$ 为岩浆活动静止期^②, 这可能代表了该区自 500Ma 左右经历

麻粒岩相变质和花岗岩侵入后进入稳定演化阶段,大地构造环境进入相对稳定期。根据古生物地理学、岩石地层学、变质地质学和构造地质学等方面的研究成果,吉林大学“大庆探区外围区域构造演化对中、新生代盆地形成演化的制约”课题组提出了“佳蒙陆块”这一概念,认为这一由蒙古-鄂霍茨克缝合带、西拉木伦-延吉缝合带和中锡霍特俯冲带围限的陆块在晚古生代一直稳定存在。刘建锋通过对小兴安岭东部早古生代花岗岩的研究后认为^①,松嫩地块与佳木斯地块在早古生代的造山运动中就拼合在一起了,并形成了 510~460Ma 左右的造山旋回的花岗岩岩石组合。马家街群物源区具有大陆岛弧性质,因此不能排除佳木斯地块在与相邻地块拼合过程中曾发育过大陆岛弧构造。前人研究认为(黑龙江区域地质志,1993),马家街群物源区为上升的稳定陆区,根据上述分析,这个稳定的陆区很可能就是 510~460Ma 期间佳木斯地块和相邻地块拼合后形成的陆块。

根据前人对佳木斯地块古生代沉积地层的研究结果(黑龙江地质志 1993),下古生界在佳木斯地块普遍缺失,而晚古生代地层主要分布在桦南隆起东部地区,马甲街群这套泥质岩石与晚古生代地层在岩性上具有一致性,最新的研究成果^②显示这套晚古生代地层的碎屑锆石年龄集中在 500Ma 左右,因此佳木斯地块早古生代形成的花岗岩可能是其重要的物源,所以不能排除马家街群可能与桦南隆起在早古生代具有相同形成背景和时代。如果马家街群与桦南隆起东缘上古生界具相同属性,形成这套巨厚的晚古生代沉积地层必有一个稳定剥蚀区提供物源,而这个物源区唯一可能就只有佳木斯地块和相邻地块拼合而成的稳定陆块。

综上所述,马家街群沉积时代不是前人认为的元古代或震旦纪,而是介于古生代的晚寒武世至中二叠世之间。马家街群沉积在麻山群之上,其物源区具有稳定陆块的特征,这个稳定陆块可能形成于佳木斯地块泛非期与相邻地块的拼合过程。

致谢:本文实验数据的测试及文章编写过程得到了杨德彬博士、刘建峰博士和孟恩博士的大力帮助,审稿专家对本文提供了建设性的意见,在此一并表示感谢!

注 释

① 熊小松. 2007. 吉林大学硕士论文,桦南隆起物质组成及变质变形作用研究.

- ② 黑龙江省地质局第一区域地质测量队,中华人民共和国区域地质调查报告(桦南县幅). 1977.
- ③ 迟效国,王成文,金巍等. 2007. 区域构造演化对中、新生代盆地形成演化的制约,吉林大学地球科学学院.
- ④ 刘建锋. 2006. 吉林大学硕士论文,小兴安岭东部早古生代花岗岩地球化学特征及其构造意义.
- ⑤ 孟恩. 2008. 吉林大学硕士论文,佳木斯地块东缘及东南缘晚古生代火山岩的年代学和岩石地球化学.

参 考 文 献

- 曹瑞骥,赵文杰,肖仲洋等. 1982. 中国前寒武系的分层和对比. 中国科学院南京地质古生物研究所,北京,科学出版社:1~27.
- 曹熹,党增欣,张兴洲等. 1992. 佳木斯复合地体. 长春,吉林科学技术出版社:45~57.
- 和政军,李锦铁,莫中国. 2003. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析. 中国科学(D辑), 33(12):1219~1226.
- 黑龙江省地矿局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京:地质出版社:0-5,31-33,439~484.
- 黄映聪,张兴洲,熊小松等. 2008. 黑龙江省东部桦南隆起美作花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 38(4):631~637.
- 姜继圣. 1993. 麻山群孔兹岩系的地球化学特征. 地球化学, (4):363~372.
- 李锦铁,牛宝贵,宋彪等. 1999. 长白山北段地壳的形成与演化. 北京:地质出版社:46~69.
- 刘建锋,迟效国,董春艳等. 2008. 小兴安岭东部早古生代花岗岩的发现及其构造意义. 地质通报, 27(4):532~544.
- 吴福元, S WILDE, 孙德有. 2001. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U-Pb 年龄. 岩石学报, 17(3):443~452.
- 王清晨,从柏林. 1996. 大别山超高压变质岩的地球动力学意义. 中国科学(D辑), 26(3): 271~276.
- 王全伟,梁斌. 2001. 川西北壤塘地区西康群深海浊积砂岩沉积地球化学特征. 地质地球化学, 29(4): 82~85.
- 王友勤. 1996. 中国东北区前寒武纪地层. 吉林地质, 15(3): 1~14.
- 杨学明,杨晓勇,陈双喜(Hugh R. Rollison 原著). 2000. 岩石地球化学. 中国科学技术大学出版社,合肥:106~110.
- 张兴洲. 1992. 佳木斯地体的早期碰撞史-黑龙江岩系的构造-岩石学证据. 长春地质学院博士学位论文.
- Wilde S A, 吴福元, 张兴洲. 2001. 中国东北麻山杂岩晚泛非期变质的锆石 SHRIMP 年龄证据及全球大陆再造意义. 地球化学, 30(1):35~50.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology, 192(1): 59~79.
- Belousova E, Griffin W, Suzanne Y. O'Reilly, et al. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602~622.
- Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies Henderson P. Rare earth element geochemistry: 63~114.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. Journal of Geology, 91(6): 611~627.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. Sedimentary Geology, 45(97): 113.
- Blanca Bauluz M J. 2000. Geochemistry of precambrian and Paleozoic siliclastic rocks from the Iberian Range(NE Spain):

- implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. *Chemical Geology*, 138:135~150.
- F Y Wu, J H Yang, C H Lo, S A Wilde, D Y Sun. 2007. Research Article The Heilongjiang Group: A Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China, Island Arc, 16 (1): 156~172.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan et al. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48 (22): 2411~2421.
- Humphries S E. 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: Henderson P (ed.), *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam; Elsevier: 315~341.
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3-4):207~224.
- Lin S, M H E. 2000. Precise determination of trace elements in geological samples by ICP-MS using compromise conditions and fine Matrix-Matching Strategy. *Analytical Sciences*, 16 (12): 1291~1296.
- Ludwig K R. 1994. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Open-File Report, Version 2. 75, 91~145.
- McLennan S M, Hemming S. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Geological Society of America Special Paper, 284: 21~40.
- Meng En, Xu Wenliang, Yang Debin et al. 2008. Permian volcanisms in eastern and southeastern margins of the Jiamusi Massif, northeastern China: zircon U-Pb chronology, geochemistry and its tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 53(8):1231~1245.
- McLennan S M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin B R and McKay G A (eds.), *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. Rev. Mineral., 21:169~200.
- McLennan S M, Taylor S R, Hemming S R. 2006. Composition, differentiation, and evolution of continental crust: constraints from sedimentary rocks and heat flow. In: Brown M & Rushmer T (eds) *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*. Cambridge University Press, Cambridge, 92~134.
- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53:745~750.
- Taylor S R, S M McLennan. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell. New York, Oxford. 1~328.
- Yuan H L, S Gao. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geoanalytical and Geostandard Newsletters*, 28 (3): 353~370.

Geochemical Characteristics and Sedimentation Age of the Majiajie Group in Eastern Heilongjiang Province, China

HUANG Yingcong¹⁾, ZHANG Xingzhou¹⁾, ZHANG Hongbin²⁾, XIONG Xiaosong³⁾,
LIU Changlin⁴⁾, ZHAO Liangliang¹⁾

1) College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, 130061; 2) East China Mineral Exploration and Development Bureau for Non-ferrous Metals, Nanjing, 210007; 3) Geological Institute of China, Beijing, 100037; 4) Jiangnan Oil Petroleum Plant, Qianjiang, Hubei, 433123

Abstract

Lithology of the Majiajie Group, located in eastern Heilongjiang Province, is dominated by low metamorphic argillaceous rocks. Major and trace elements analysis shows that content of SiO₂ is 61.5%~77.68%, Al₂O₃ is 9.74%~21.08%, K₂O is 2.73%~6.34%, Na₂O is 0.1%~2.66%, (La/Yb)_N is 6.55~10.79, Eu/Eu* is 0.45~0.64, and (Gd/Yb)_N is 1.28~1.94. All these features indicate that the source rock of the Majiajie Group is felsic rocks originating from the post-Archean upper continental crust which belongs to continental island arc. The cathodoluminescence images of zircons selected from basal granitic gneiss show that they all have a clear oscillatory zonation and good crystal shape, which indicate they are typical of magmatic origin. The zircon LA ICP-MS U-Pb dating of spots indicates that their ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages range from 499 to 508Ma and that the weighted mean age of 11 analyzed spots is 504.2Ma. This result indicates the source rock of basal granitic gneiss is middle Cambrian in age while its metamorphic age should be much later than middle Cambrian. Therefore, the Majiajie Group's sedimentation started after Cambrian. The geochemistry of Majiajie Group and geochronology of basal granitic gneiss suggest that the source rock region was probably a stable continental block which was amalgamated by the Jiamusi Block and adjacent blocks during Pan-African period.

Key words: Jiamusi block; Huanan uplift; Majiajie Group; Pan-Africa period; Paleozoic

中国地质学会评选 2008 年度十大地质科技成果 和十大地质找矿成果揭晓

2008 年 12 月 21 日,中国地质学会组织召开了 2008 年度十大地质科技成果和十大地质找矿成果评选会议,评选委员会由 32 人组成,其中 7 名两院院士参加评选,孟宪来常务副理事长任评选委员会主任,孙枢、李廷栋院士任副主任。

自 2007 年开始,每年年末中国地质学会开展年度优秀地质科技与找矿成果汇编工作,并进行中国地质学会年度十大地质科技成果、十大地质找矿成

果评选工作。这项工作的目的是为更好地总结我国地质界年度地质科技成果与重大找矿进展,在全行业推广地质找矿新思路、新方法,介绍地质找矿成功的典型案例,加快科技成果的转化与应用。并以此向社会各界展示地质行业年度最新成就,提高地质行业的社会显示度。

2008 年度十大地质科技成果和十大地质找矿成果评选结果如下。

中国地质学会 2008 年度十大地质科技成果 (排名不分先后)

柴达木盆地发现罕见鱼化石

发现于柴达木盆地上新世湖相地层中的骨骼超常粗大的鱼化石——伍氏献文鱼,其奇特之处在于它遍布全身的超常粗大骨骼,几乎没有多少空间可供肌肉生长,这在现生鱼类中闻所未闻。在化石记录上,亦仅发现过一例,是一种鲭科鱼化石,产自地中海北部沿岸中新世晚期墨西拿期(Messinian)海相或泻湖相蒸发岩地层中,它也具有极其粗壮的骨骼,与伍氏献文鱼不同之处是其时代较老。但是,无论是陆相盐湖和海相泻湖其沉积物都富含盐类,而且两地含鱼化石地层中碳酸钙和硫酸钙的含量都相当高。说明这种骨骼超常变粗的现象,乃是其生活的水域中的钙质饱和所致。从这两种鱼类生前大多均具有正常的寿命来看,超常粗大的骨骼似乎并未影响它们的正常生活。这是由于钙质既是骨骼的组成部分,又于鱼类无害。现代高盐度湖泊中,若非含钙量高而是其他盐类(如镁盐、钠盐)异常的,即使鱼类尚存,它们的骨骼均无增粗现象。地中海沿岸的鲭科鱼化石以及青海的伍氏献文鱼均为当时当地水域中仅存的鱼类,只有它们能适应比较严酷的水化学环境。而且两地的鱼化石骨骼均随年龄增粗,应为后天环境影响造成。该项目的研究者们认为,伍氏献文鱼的发现,不仅展示了鱼类对极端环境的生理适应能力,也是

柴达木盆地干旱化过程的见证,并提供了环境变化和生物适应间的令人信服的案例。该成果于 2008 年 9 月在《美国科学院院刊》上发表。

该项目的主要完成单位是中科院古脊椎动物研究所。主要完成人是中科院古脊椎动物研究所张弥曼院士,合作者是美国洛杉矶自然历史博物馆王晓鸣、中国科学院武汉水生生物研究所留焕章、美国堪萨斯大学苗德岁等。

我国学者提出龟类起源的新证据

发现于中国西南地区晚三叠世祖先型龟类化石是已知年代最早和迄今唯一具有一系列过渡特征的原始龟类。该论文同时质疑龟类的陆生起源假说,提出了龟类起源于水环境的新证据。这种奇特的三叠纪龟类被命名为半甲齿龟。半甲齿龟不仅具有牙齿,而且背甲发育不完全,和著名的始祖鸟一样,是古生物学中完美的“缺失环节”。

在化石记录上,龟类起源没有任何线索。此前最为古老的龟类化石,其主要特征已经与现代龟类无异,具有没有牙齿的上下颌以及由背、腹两部分组成的完整甲壳。长期以来科学界只能通过现代龟类的胚胎发育和少数体表具有甲片的古代爬行动物化石对其起源加以推测。与此前科学界的普遍推断不同,半甲齿龟的身体结构表明,龟类腹甲的形成远远早于其背甲,当腹部的甲壳已经演化到

与今天的龟类相差无几时,背部的甲壳才刚刚开始出现,而背甲产生的模式和顺序只与现代龟类中个别属种的胚胎发育相似。这些化石进一步表明,龟类背甲的形成与肋骨和脊椎的特化有显著关系,而与此前推测的单独存在的甲板无关。此外,半甲齿龟的骨骼结构及其化石发现地点的地质情况显示,这种原始龟类很可能生活于海滨或者河流三角洲地带,其适应于水生环境的程度与今天的甲鱼相似。

该项目的研究者们认为,半甲齿龟不仅代表了龟类起源中重要的过渡阶段,而且首次从古生物学角度揭示了这一物种特殊身体结构的演化过程,同时为其起源环境提供了全新的线索,具有重要的理论意义。该成果已于 2008 年 11 月在英国《自然》杂志发表。

该项目的主要完成单位是中科院古脊椎动物研究所。主要完成人是李淳,合作者是加拿大自然博物馆吴肖春、美国菲尔德博物馆 OLIVIER RIEPPEL,贵州省地调院王立亭,浙江自然博物馆赵丽君等。

云南昆明发现反映动物集体行为特征的节肢动物化石

1984 年发现的云南澄江动物群,从低等的海绵动物到高等的脊椎动物都有其代表,证明所有现代动物门类几乎同时产生在寒武纪大爆发时期,是探索地球早期生物起源、演化的重要窗口。国际地质学界普遍认为:澄江动物群中的这些早期化石代表了所有现代动物生命演化树之根。

近来,在云南澄江动物群中发现了一个像虾一样的节肢动物,该动物许多个体一个连接一个,排列成队。在 20 余枚该动物化石标本中,其中一枚标本显示 20 个动物个体,前一个动物的尾部嵌入后一个动物个体壳体前部之内,形成了一个牢固难以分离的链状体。经研究认为,这是最古老的指示动物集体行为特征的化石。化石标本发现于昆明市郊海口地区,动物运动的集体行为可能是为了更有效地抵御食肉动物的攻击或者是为了逃逸当时恶劣环境而快速有效地迁移。

现代动物的行为是动物界一个普遍的特征,是长期演化发展的重要特征。在生命演化历史长河中,早期动物集体行为特征及起源是科学界难以解释之迷。新的研究指出,动物的不同行为、包括动物复杂的集体行为在寒武纪生命大爆发时期也同

时产生。这一研究成果发表在 2008 年 10 月 10 日美国《科学》杂志上。

该项目的主要完成单位是云南大学云南省古生物研究重点实验室。主要完成人是侯先光等。

石炭系维宪阶和寒武系古丈阶全球界线层型剖面 and 点位在我国建立

我国广西柳州长塘乡梳桩村碰冲、湖南古丈罗依溪等地剖面经国际地质科学联合会 2008 年 3 月正式批准分别当选为石炭系维宪阶和寒武系古丈阶的全球界线层型剖面 and 点位(Global Stratotype Section and Point, 简称 GSSP, 俗称“金钉子”)。至此,在国际地层界线层型研究中,我国已获得九枚“金钉子”。

全球界线层型剖面 and 点位是国际上定义年代地层单位(系、统、阶等)、划分和对比地球历史年代地层的唯一全球标准。据此,建立国际统一的地层表。2008 年,第 33 届国际地质大会期间,国际地层委员会颁布了新国际地层表,中国的维宪阶和古丈阶点位均标注为“金钉子”。

“全球界线层型剖面 and 点位”的建立是经过长期研究、全球对比、国际考察、反复讨论、协商、由国际各系地层委员会最后投票表决产生,并经国际地层委员会赞同,国际地质科学联合会批准而成立。因此,它的确立标志全世界科学家的努力,国际合作的结晶,以及所在国的地层研究水平。“金钉子”在我国的建立,不仅反映中国地质科学界的成就,也代表了国家的荣誉。上述“金钉子”所在地的政府已将它们列为国家级地质遗迹保护区,并计划开辟为地质公园,作为普及地学的基地和旅游观光点。

石炭系维宪阶“金钉子”的主要完成单位是中国地质科学院地质研究所,主要完成人是侯鸿飞。寒武系古丈阶“金钉子”的主要完成单位是中国科学院南京地质古生物研究所,主要完成人是彭尚池。

天然后尖晶石超高压矿物的发现

中国科学院广州地球化学研究所科技人员和美国合作者在我国随州陨石中发现了两个冲击成因的后尖晶石超高压矿物。这是在自然界首次发现的后尖晶石超高压多形,其中一个已于 2008 年获得国际新矿物、命名与分类委员会的批准并命名为谢氏超晶石,另一个矿物的研究也已经完成。尖

晶石结构是矿物家族中的重要结构类型,尖晶石和铬铁矿是上地幔矿物中的常见结构;地幔过渡带主要矿物林伍德石等也具有尖晶石结构。近四十年来,系列的实验研究致力于探索尖晶石相可能发生的高压多形转变,但天然产状的后尖晶石超高压矿物一直没有被发现和证实。该项研究在陨石冲击脉体中,发现了铬铁矿尖晶石经固态相转变形成的两个超高压多形,矿物由原来的立方结构转变为密度更大的斜方结构。他们同时在实验室成功合成了这两个超高压新矿物。两个后尖晶石超高压矿物形成的压力分别相当于离地表 400 和 580km 以上的地幔深度。由于尖晶石—铬铁矿是陨石和地幔岩石中的常见矿物,后尖晶石超高压矿物的天然产出可用于判断冲击变质陨石和从地球深部折返的地幔岩石压力温度演变历史的压力标准。

天然后尖晶石超高压矿物的发现不但为探索地球深部岩石成因历史提供了一个有效窗口,而且为当前受到广泛关注的大陆碰撞带构造地质学研究开辟了一个有效的途径。该成果先后在《地球化学和宇宙化学学报》、《美国科学院院刊》和《科学通报》上发表。

该项目主要完成单位是中国科学院广州地球化学研究所,合作研究单位是美国卡内基地球物理实验室。主要完成人是陈鸣、束今赋、毛河光、谢先德和 R. J. Hemley。

铁、铜、锌等非传统稳定同位素地球化学研究取得突破性进展

非传统稳定同位素地球化学是个新兴的研究领域。在国家自然科学基金委员会、科技部和中国地质调查局的支持下,我国科学工作者在该领域取得了一系列突破性成果。一是建立了铁、铜、锌、镁等非传统稳定同位素高精度测试方法,所建方法的精度达到国际同类实验室的领先或先进水平。这些方法的建立为我国开展非传统稳定同位素地球化学研究奠定了技术基础。二是按照国家一级标准物质技术规范,进行了铁、铜、锌、镁同位素标准物质研制,从而为促进我国铁、铜、锌等非传统稳定同位素地球化学的发展提供了必要条件。三是从实验模拟、地质调查和理论计算三个方面开展了铁、铜、锌、镁等同位素体系在氧化—还原、结晶—沉淀、吸附—淋滤、水岩作用、生物作用、变质作用等过程中的质量分馏研究,丰富和发展了同位素地球化学理论,为这些新同位素体系在地学中的应用

奠定了必要的理论基础。四是对非传统稳定同位素在成矿作用、地幔过程、环境变化等方面的应用进行了示范性研究。例如:通过对华北条带状铁建造的研究,首次用铁同位素对铁的来源进行了直接示踪;通过新生代玄武岩中地幔包体的铁同位素研究,表明地幔岩中铁同位素组成的变化与地幔交代作用和氧化还原状态有关;通过对太平洋铁锰壳壳的研究,首次从铁铜锌同位素角度提取了 80Ma 以来古海洋环境变化的信息。这一系列成果的取得,标志着非传统稳定同位素地球化学这一新学科在我国的建立。

该项目的主要完成单位是中国地质科学院地质研究所。主要完成人是朱祥坤等。

青藏高原新构造及晚新生代古大湖研究

中国地质调查局“1:150 万青藏高原新构造与地质灾害图”项目通过编图和系统研究,阐明了青藏高原形成与构造变形的关系。获得了青藏高原最主要的构造变形期发生在上新世晚期—早更新世的可靠证据。证实西昆仑地区西域砾岩的沉积时代约为 3~1Ma。西域砾岩属于快速堆积的山麓冲洪积扇相沉积。它的出现与区域同时期的构造变形密切相关。高原西北缘的磷灰石裂变径迹分析及其热历史模拟揭示了区域地貌陡坡带上新世以来的快速冷却剥蚀,特别是 3~1Ma 以来的快速冷却剥蚀,剥蚀深度达 5km 以上,这进一步说明了西域砾岩的物质来源,同时暗示:陡坡带的形成是青藏高原抬升的重要过程。

通过河流研究高原构造地貌的演化是近期国际地学研究的热点和亮点。这项研究通过克里雅河构造地貌的分析证实:现今克里雅河的历史始于 1.1Ma;前克里雅河流域地貌演化的起源不超过上新世阿图什组沉积期。这是人类第一次完整地认识一条河流及其水系地貌的发育历史。早更新世至中更新世早期塔里木盆地应当存在一个大湖。在黄河源扎陵湖、鄂陵湖地区发现高出现湖面 335m 的湖相地层。青藏高原主体可能在中更新世早期前后才抬升进入冰冻圈。这项系列成果对于区域环境变化的研究和减灾工作都有重要意义。

该项目主要完成单位是中国地质科学院地质力学研究所。主要完成人是赵越、邵兆刚、黎敦朋、刘健等。

全国主要城市环境地质调查评价 取得重大进展

“全国主要城市环境地质调查评价”为 2004—2010 年的地质调查计划项目。截止到 2008 年底,该项目先后完成了海南、黑龙江、四川、云南、浙江、江西、甘肃等 15 省区 177 个地级及以上城市环境地质调查评价,为上述地区和城市规划、建设、管理及汶川灾区灾后重建提供了地质依据。该项目取得的一系列重要进展:一是查明了 15 个省 177 个城市的环境地质条件、城市地质灾害特征与发展趋势、地下水污染与地下水资源衰减、特殊土分布与土壤污染等状况及其变化趋势;二是查明了 278 个垃圾场对环境的污染状况,评估了地质灾害与问题对这些城市造成的危害、经济损失,为 37 个城市选定了垃圾卫生填埋场;三是调查了这些城市的后备地下水资源、地质景观、地热等地质资源;评价了上述 177 个城市环境地质条件、地质环境质量状况,分析了其对城市发展的影响和作用,从地学角度提出了地质资源、地质环境的科学利用与保护的一系列建议;四是为 177 个城市编制了相应的图件,为 146 个城市建立了地质环境数据库。

这些成果被哈尔滨、康定、昆明、南昌、兰州、攀枝花等城市规划、建设与管理部分别用于城市规划修编、后备或应急供水的水源地论证、地下水资源保护、垃圾场地的选择、地质灾害防治等方面,陇南市地震灾后重建也利用了本项目成果。产生了巨大的社会效益。

该项目的主要完成单位是中国地质科学院水文地质环境地质研究所,四川、甘肃、湖南等地质调查队伍承担了部分工作。主要完成人是刘长礼、董华、侯宏冰、王秀艳等。

危机矿山深部预测盲矿的新突破—— 构造叠加晕找矿法

构造叠加晕找矿法是根据热液矿床成矿严格受构造控制、成矿成晕多期多阶段叠加而提出的原生叠加晕理论。用原生叠加晕理论合理解释了原生晕轴向分带出现的“前尾晕共存”、“反分带”等无规律或反常现象,解决了困惑化探专家几十年的重大难题,大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果,是危机矿山深部预测盲矿方法研究的重大突

破。

该方法先后在 40 多个危机金矿山应用,都取得了显著找矿效果。验证预测靶位累计已获黄金金属量 140.6t,潜在价值 240 多亿元,延长了十几个危机矿山服务年限,保障了十几万名矿工继续就业、为国民经济发展和保持社会稳定带来了巨大的经济效益和社会效益。

实践证明,该方法是解决矿山资源危机,预测矿山深部盲矿非常有效的新方法、新技术。经专家鉴定:构造叠加晕研究达到了国际领先水平,已获国家科技进步一等奖 4 项。发表专著两部、论文 60 余篇。

该项目由中国冶金地质总局地球物理勘察院承担,协作矿山有陕西太白金矿、河南秦岭金矿、山东金洲矿业集团等。主要完成人是李惠、禹斌、李德亮、张国义、骆华宝等。

中、俄、哈、蒙、韩合作编制的 1:250 万 “亚洲中部及邻区地质图系”

中、俄、哈、蒙、韩合作编制的 1:250 万“亚洲中部及邻区地质图系”编图面积约 2500 万平方公里。五国在共同编制世界首套 1:250 万亚洲中部及邻区地理(底)图、地质图、大地构造图、非能源矿产(固体矿产)成矿规律图和能源矿产(石油、天然气、煤)成矿规律图的同时解决了一系列重大地质、矿产问题。如:初步确认了中元古界地层对比和底界年龄为 18 亿年;首次提出并解决了大兴安岭火山岩带属于蒙古—鄂霍次克中生代火山岩带范畴,而非太平洋板块的范畴;确认了“京畿地块”属于大别—苏鲁构造带向东的延伸部分;解决了中国天山构造带与中亚的对比;提出大兴安岭成矿带是“中生代蒙古—鄂霍次克成矿带”的重要组成部分,中侏罗世—早白垩世是本区成矿大爆发期;提出用断裂系统特征进行找矿靶区预测的新方法;按“盆山耦合”和地史演化阶段特点编制了能源成矿底图;指出深部动力和热力作用在油气成藏三大阶段中的重要意义;提出了从深部动力作用和热力作用角度预测寻找新油气田的方法和步骤等等。

该项目主要完成单位是中国地质科学院、中国地质科学院地质研究所。主要参加人员有张彦英(前期)、董树文、李廷栋、耿树方、范本贤等 20 余人。

中国地质学会 2008 年度十大地质找矿成果 (排名不分先后)

安徽省庐枞深部发现泥河大型铁矿

安徽庐枞地区泥河铁矿是安徽省地质调查院在实施 2006 年度国土资源大调查《安徽庐江盛桥—枞阳横埠地区铁铜矿勘查》项目时所发现的一个大型隐伏的磁铁矿床。该铁矿床的发现,是在系统总结区域成矿地质条件、成矿规律、控矿地质因素的前提下,利用玢岩铁矿找矿模式,选择 1:5 万航磁异常与重力异常套合地区,通过大比例尺地磁、重力测量,利用钻探对磁异常进行验证而发现的,2007 年 5 月首孔(ZK0501 孔)在 675~1095m 见到厚大的矿体。截止 2008 年,该矿床控制的主矿体及外围铁矿资源量经初步概算大于 1 亿吨,硫铁矿资源量可达大型。该矿床的发现是庐枞地区近 20 年来找矿的重大发现之一,也是我国近年来开展深部寻找铁矿矿床的成功案例之一,它的发现预示在长江中下游地区进一步开展深部找矿工作具有十分广阔的前景,也必将对长江中下游地区深部找矿工作起到积极的推动作用。

该项目由安徽省地质调查院承担。主要完成人是吴明安、杜建国、侯明金、徐小磊等。

河南省唐河县周庵发现含铂族—铜镍硫化物矿床

2008 年 4 月,河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院完成了河南省唐河县周庵含铂族—铜镍硫化物矿床的勘探工作,求得镍金属量 328388 t,铜金属量 117534t,伴生有用组分金属量:铂 18401kg,钯 15703kg,金 12157kg,银 402218kg,钨 4654kg,钼 712kg,铀 171kg,钍 304kg,钴 13095t。矿床达到大型含铂族元素和钴、金、银的铜镍硫化物矿床规模。勘探报告已于 2008 年 4 月 15 日由北京中矿联咨询中心评审通过。该矿床是在航磁异常查证的基础上发现的。矿床位于杨子古板块与华北古板块俯冲带内,处于秦岭—大别基性、超基性岩带南亚带随枣岩群的西段。矿床成因为岩浆熔离型铜镍矿床。含矿岩体属隐伏超基性岩体,位于板块碰撞后,局部不均匀

拉张的裂隙槽环境,隐伏于新生界地层之下,侵位于中元古界片岩、大理岩地层中。岩体侵位时代为加里东期。矿体呈层状产出在超基性岩体内接触带蚀变壳内及岩体内部的二辉辉橄岩与二辉橄榄岩接触带,埋深 300~850m。该矿床的发现,填补了河南省空白,对在周边寻找同类矿床具有指导意义。建成投产后,必将带动和促进当地就业和经济发展,具有巨大的社会效益和经济效益。

该项目由河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院承担。主要完成人是李胜利、马庚杰、刘勤安、王建明等

黑龙江省东宁县金厂发现超大型金矿

金厂金矿位于黑龙江省东南部,属延边—东宁成矿带。该区地处太平岭森林区,地表覆盖较厚,地质工作难度较大。1994 年,武警黄金第一支队进入该区进行 1:5 万水系沉积物异常查证时发现了半截沟 I 号矿体。其后,通过大量的地质、物化探、遥感解译及工程验证工作,在矿区陆续发现了多个隐爆角砾岩型金矿体及石英脉型金矿体。自 2000 年起,针对金厂矿区控矿构造复杂,深部矿体难以控制等特点,先后与武警黄金地质研究所、中国地质大学、桂林工学院、吉林大学等科研院所合作,开展联合攻关,建立了“金厂式”金矿“四位一体”成矿作用模式。迄今,矿区已发现四种类型金矿体,包括隐爆角砾岩型、岩浆穹窿型、环状—放射状裂隙充填型、接触带型,共发现具有工业价值的矿体 17 条、矿化体 9 条,累计提交(333)金资源量 64t,平均品位为 3.31~52.26g/t。该矿具有矿化集中、品位稳定、易采易选等特点,达到超大型规模。

该项目完成单位是中国人民武装警察部队黄金第一支队。主要完成人是贾国志、王振忠、杨兆光、边红业等。

湖北省铜绿山铜铁矿深部找矿 取得重大突破

铜绿山铜铁矿为一古矿区,其开采历史可追溯至殷代。进入本世纪,千年古矿步入危机,寻找接

替资源,迫在眉睫。2006 年,“湖北省大冶市铜录山接替资源勘查”被列为全国第一批危机矿山接替资源找矿项目。面对矽卡岩矿床成矿地质条件复杂,深部找矿风险大,矿山开采坑深坡陡,建筑物密布,人文环境复杂,物探方法受局限,难以展开,深部成矿信息提取难度大的特点,项目组以构造控矿规律和蚀变—矿化分带规律为基础,通过研究大量的矿区勘查和开采资料,进行矿床深部预测和验证。验证过程中,克服钻孔深度大、孔内情况复杂,施工难度大等困难,通过两年的勘查工作,深部找矿取得重大突破。截止 2008 年,全矿区新增(333)铜金属资源量 20 万吨,铁矿石量 1000 余万吨,伴生金资源量 10t。尤其是在Ⅺ号矿体的深部标高负 700 至负 1000m 之间第二找矿空间新发现Ⅺ1 号矿体,查明(333)铜金属量 12 万吨、铁矿石量近 700 万吨。

鄂东南地区是长江中下游铜、铁、金、硫成矿带重要的矿集区,铜绿山矿床深部找矿的突破,具有重要的示范作用,为推动该区深部找矿提供了依据。

该项目的主要完成单位是湖北省鄂东南地质大队和大冶有色金属公司。主要完成人是魏克涛、熊继传、张国胜、邓世品等。

湖北省宜昌磷矿深部勘查 取得重大突破

中化地质矿山总局湖北地质勘查院在充分搜集湖北省宜昌磷矿开采矿区中已有的勘查和采矿地质资料的基础上,运用沉积磷矿床的成矿理论,结合区域地层、构造的分布特征,对分布在扬子地区北缘,受黄陵背斜和神农架背斜控制的宜昌磷矿深部磷矿赋存规律进行了综合研究,划分了磷矿的富集区、贫矿区及无矿区,认为贫矿区分布于从夷陵到兴山县一带,呈北西向展布;到兴—神磷矿一带,折转向南西展布;贫矿区以南地区为无矿区,贫矿区以北为磷矿富集区。预测在宜昌磷矿树空坪矿区的深部可能存在较好的磷矿层。

该院从 2004 年至 2008 年先后和三家矿山企业合作,分别对后坪、黑良山、乔沟 3 个矿区近 40km² 范围内进行深部找矿验证。共施工钻孔 46 个,进尺 41000m,部分钻孔深 710~1014m。发现赋存于震旦系陡山沱组第二段中的富磷矿 Ph1 和 Ph2 在全区稳定分布,两层矿体总平均厚度约 6m,平均品位约 25%。采用水平投影块段法进行整体资源估算,共估算(333+334?)磷矿资源量 4.34 亿

吨,其中(333)磷矿资源量 0.81 亿吨,(334?)磷矿资源量 3.53 亿吨。

该项目的主要完成单位是中化地质矿山总局湖北地质勘查院。主要完成人是郑门关、方邵平、瞿长青、曾德军等。

内蒙古二连盆地中东部地区发现 大型铀矿床

2008 年 10 月,二连盆地中东部地区铀矿普查地质报告经放射性矿产资源储量评审中心审查通过,标志着中国核工业地质局在北方主攻地浸砂岩型铀矿又取得一项突破性成果。该矿床已达到大型规模,但不同于伊犁、吐哈、鄂尔多斯等盆地探明的产于中下侏罗统、典型层间氧化还原作用成因的铀矿床,它是在我国白垩系—古近系首次探明的大型地浸砂岩型铀矿床,也是我国第一个大型古河谷型地浸砂岩型铀矿床。矿床受大型古河谷砂体(带)、古河谷“补—径—排”水动力体系、潜水和层间氧化还原作用、容矿砂岩还原容量、构造—沉积演化及其次造山活动等因素控制,通过沉积体系综合分析研究确定目的层位、物探方法定位砂体(带)、准确预测氧化还原部位、科学钻探等集成方法进行勘查,其成矿规律、找矿思路和找矿方法对指导北方类似沉积盆地的找矿具有重要意义。

该项目由核工业二〇八大队承担勘查工作,核工业北京地质研究院做了大量综合研究工作。主要完成人是申科峰、旷文战、李洪军、于恒旭等。

山西省灵丘县支家地铅锌银矿深部 找矿取得重大突破

2008 年 12 月,山西省灵丘县支家地铅锌银矿接替资源勘查地质报告经全国危机矿山接替资源项目管理办公室审定,标志着中国冶金地质总局三局在山西危机矿山深部多金属找矿中取得重大突破。该矿床规模达到大型,使一个资源已近枯竭的老矿山获得新生。矿床赋存于隐爆角砾岩中,柱状隐爆角砾岩矿体储量大,在深部及构造复合部位富集成矿,断层及其次级断裂构造、隐爆角砾岩体的分布和形态直接控制了矿体的展布方式、形态特征及矿体规模、矿石类型和矿石质量。在断裂带人字型构造两侧,实现找矿新突破,先后发现了 6 条隐伏矿体,最高见矿厚度 118m,深部 900m 处富矿体厚达 30.7m,铅品位 5.91%,锌品位 8.67%,银品位 100.14g/t。目前,已探获矿石资源量 1901.98

万吨,(333)金属资源量银 1816.87t,铅+锌 46.79 万吨。实践证明,隐爆角砾岩与白云岩接触带上形成的富矿体在该区深部仍具有较大的找矿前景。

该项目由中国冶金地质总局第三地质勘查院承担勘查工作,第三地质勘查院太原分院做了大量综合研究工作。主要完成人是曹国雄、李兵院、李怀谦、李树臣等。

四川省攀枝花市宝鼎煤矿找矿 取得重大突破

四川省攀枝花市宝鼎煤矿接替资源勘查项目成功地找到了 3.25 亿吨优质炼焦煤,达中型煤矿区规模,属典型的断陷盆地成煤。这标志着在煤炭资源贫乏的攀西地区找煤取得了重大突破。预示着在攀西地区还能找到丰富的优质炼焦煤的可能。

攀西地区构造复杂、成煤条件差、找煤难度非常大。从靶区选择到勘查工作,该项目始终注重科学研究、勘查方法创新和先进技术装备的运用。立项前对攀西地区煤炭赋存规律的综合研究;运用阶梯状布孔很好地控制了 2000m 煤系和百余层煤;用新的探矿技术大大提高了工程质量;用“成煤可容空间”理论、建立高分辨率层序地层格架和精细聚煤作用模式,并预测今后找煤方向;对煤质、水文、瓦斯、地温等问题进行了较深入的研究为该项目主要特点。其找煤思路、找煤方法和综合研究对攀西地区找煤工作具有重要的指导意义。

新发现的资源可延长攀煤集团矿井服务年限 48 年,为中国特种钢基地和世界钒都的可持续发展提供了资源保障。

该项目由四川煤田地质工程勘察设计研究院承担勘查工作,中国矿业大学参与了聚煤规律研究。主要完成人是苏时才、孙应珠、邵龙义、汪为作等。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩中发现 大型油气田

近两年来,塔河油田在艾丁地区奥陶系,一批钻井投产后均获高产油气流。继艾丁地区 AD4 井在奥陶系获高产工业油气之后,在艾丁—艾丁北外缘相继部署了 AD19、AD20、AD21、AD14、AD15、AD22、AD23、AD16 等井,除 AD14、AD21 测试出少量稠油未能投产,其余均获得工业油气并已投产,获得了巨大的经济效益。2008 年,此区提交探明储量 1.2955 亿吨,控制储量 1.0722 亿吨,呈现

出了良好的开发势头。在奇地区部署的 YQ5 井,在奥陶系获高产工业油气流,日产稠油 70t。截止 2008 年 7 月 13 日,累产原油 10563t,10mm 油嘴,基本不含水,YQ5 井区提交预测储量 1.4193 亿吨,实现了塔河油田的北扩,为近两年中石化西北油田分公司在塔河地区储产量的持续增长提供了后备基地。2006 年下半年在塔河油田南部盐下部署的 AT5,完钻后对奥陶系中统一间房组测试获高产工业油气流,5mm 油嘴,日产原油 75.4m³,日产天然气 128535m³,提交预测储量原油 0.7726 亿吨,实现了塔河油田的南扩。

该项目由中石化西北油田分公司勘探开发研究院承担。主要完成人是漆立新、云露、李宗杰、吕海涛等。

准噶尔盆地发现第一个千亿方大气田 ——克拉美丽气田

2008 年 12 月,克拉美丽气田 1000 亿立方米天然气探明地质储量通过国家储量委员会评审,成为新疆油田公司第一个储量上千亿方的大型整装气田。该项成果标志着中国石油新疆油田公司在火山岩天然气勘探取得一项突破性成果。该气田不同于鄂尔多斯等盆地探明的产于中下侏罗统、砂岩气田,它是我国在石炭系首次探明的大型火山岩气田。该气藏主要受到火山岩性岩相的控制。在两年的研制过程中,综合应用录井、岩石薄片鉴定、测井及地面地质、地震层序追踪等技术,创建了适用于准噶尔盆地石炭系火山岩识别与描述的配套技术流程:一是通过岩心、薄片刻度测井,建立火山岩常规测井岩性识别图版;二是通过测井刻度地震,建立井震结合的火山岩岩相体的刻画方法;三是综合应用重磁、建场测深及地震解释技术,识别火山机构、描述有利火山岩体。首次建立了滴南凸起石炭系火山岩序列结构(C₂b 发育两套正序列火山岩,中间夹有一套沉积岩);突破了以往按石炭系顶面构造控藏的勘探思路,确立了以火山岩岩性岩相控藏的勘探思路并应用于实际,取得了显著的勘探效果。其成矿规律、找矿思路和找矿方法对指导北疆石炭系的勘探具有重要意义。

该项目的主要完成单位是中国石油新疆油田公司,中国石油新疆油田公司研究院做了大量综合研究工作。主要完成人是陈新发、匡立春、况军、吕焕通等。