

# 河北省丰宁县大草坪钼矿区花岗质岩石地球化学特征及地质意义

王艳辉

(天津华北地质勘查局,天津 300170)

**摘要:**大草坪钼矿区侵入体由花岗岩和花岗闪长岩组成,两者呈侵入接触关系,接触带附近石英脉较发育并见钼矿化。花岗岩与花岗闪长岩具有相似的岩石地球化学特征:主量元素特征均显示富含硅、碱质,普遍具有较高的钾含量,主要属钙碱性系列;稀土元素球粒陨石标准化配分模式显示LREE相对富集,球粒陨石标准化曲线都一致向右倾斜,曲线之间呈现近于平行的特征,说明两者具有同源性。笔者同时认为,大草坪岩体的成因类型为I型花岗岩,岩浆物质具壳幔混源特征;岩体与矿体具有明显的同源分异特征,可为成矿提供一定物质来源。

**关键词:**大草坪岩体;主量元素;稀土元素;岩体成因;丰宁

中图分类号: 618.96

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2013)02-0104-10

大草坪钼矿位于河北省承德市丰宁县城南30 km的三道河乡,20世纪初天津华北地质勘查局勘查证实,该钼矿是石英脉型热液矿床,由多组平行的石英脉组成,延伸约长两千米。其大地构造处于华北地台(I级)北缘,内蒙地轴(II级)之围场拱断束(III)南部上黄旗岩浆隆起带(IV)上,属冀北上黄旗构造岩浆岩带钼多金属成矿带(图1)。黄典豪等<sup>[1]</sup>曾对该成矿带内一些矿床的特征、赋矿规律及成矿时代等方面进行过研究,认为侵入岩与围岩条件对矿床的形成存在一定的制约性。段焕春等<sup>[2-3]</sup>曾通过辉钼矿Re-Os同位素年龄,岩体锆石U-Pb年龄(表1)等工作,研究了成岩、成矿年龄,进而对岩体成因进行了初步的探讨。本文对该侵入体进行了主量元素、稀土元素研究,并通过与矿体地球化学特征的对比,结合岩体与矿体的Pb、Si、S同位素地球化学特征,探讨赋矿花岗岩类岩体的地球化学特征、成因类型及其地质意义。

## 1 花岗质岩石地质与岩相学特征

### 1.1 岩体地质

大草坪钼矿区及其外围出露中生代的花岗岩类岩体及火山岩,向外出现太古宙单塔子群黑云斜长片麻岩、变粒岩、浅粒岩等变质岩;区域性构造主要

为NE向断裂,其次为NW向断裂。矿区处于NW向汤河断裂、NS向丰宁断裂和NE向杨木栅子-长哨营断裂的交汇部分。

大草坪钼矿区侵入岩较为发育,主要有花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩岩体和花岗斑岩、石英正长斑岩、流纹岩及细晶岩、煌斑岩等脉岩。矿体主要产于大草坪花岗闪长岩和花岗岩体中(图2)。矿区东部为大草坪花岗闪长岩,西部为大草坪花岗岩。

花岗闪长岩与石英闪长岩为同期不同侵入体单元,前者位于岩体中部,后者多分布于岩体边部。花岗闪长岩呈岩株状分布于矿区中部,地貌上表现为负地形,属燕山期岩体,是本区钼矿化的主要围岩。花岗岩是南猴顶杂岩体的一部分,大面积分布于矿区东、南、西及西北部,呈正地形突起,构成弧形的地貌特征,属印支期岩体;它们的形态、产状、岩相

表1 大草坪花岗岩类岩石中锆石U-Pb年龄结果表<sup>[2-3]</sup>  
Table 1 Zircon U-Pb dating results of the Dacaoping intrusion<sup>[2-3]</sup>

岩石类型	U-Pb年龄(Ma)	形成时期
花岗岩	220.0 ± 1.7	中生代早期印支期
	224.0 ± 1.5	
	232.7 ± 1.5	
花岗闪长岩	134.3 ± 1.2	中生代晚期燕山期
	140.0 ± 1.5	

收稿日期:2013-02-19

资助项目:天津市国土资源管理局科技创新项目:冀北上黄旗构造岩浆岩带中段钼矿成矿规律研究((2006)550)

作者简介:王艳辉(1971-),女,工程师,2007年吉林大学勘查与技术工程专业毕业,主要从事地质找矿管理工作((2006)550号)。

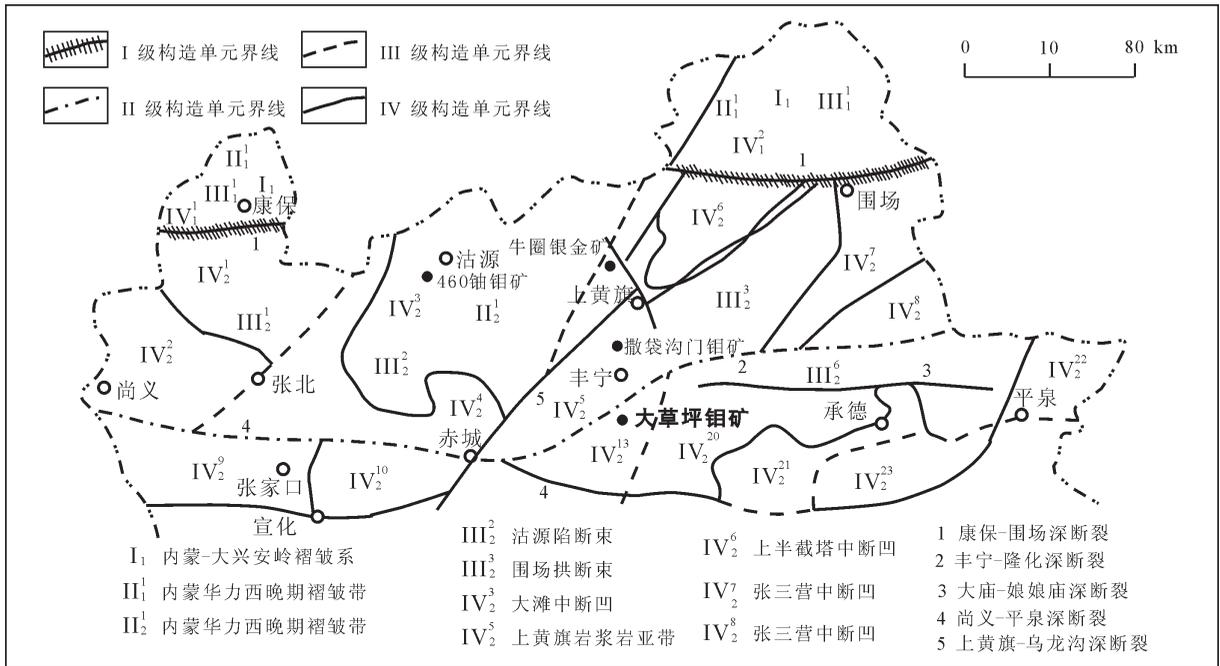


图1 冀北构造单元分区图

Fig.1 Tectonic division of the northern Hebei Province

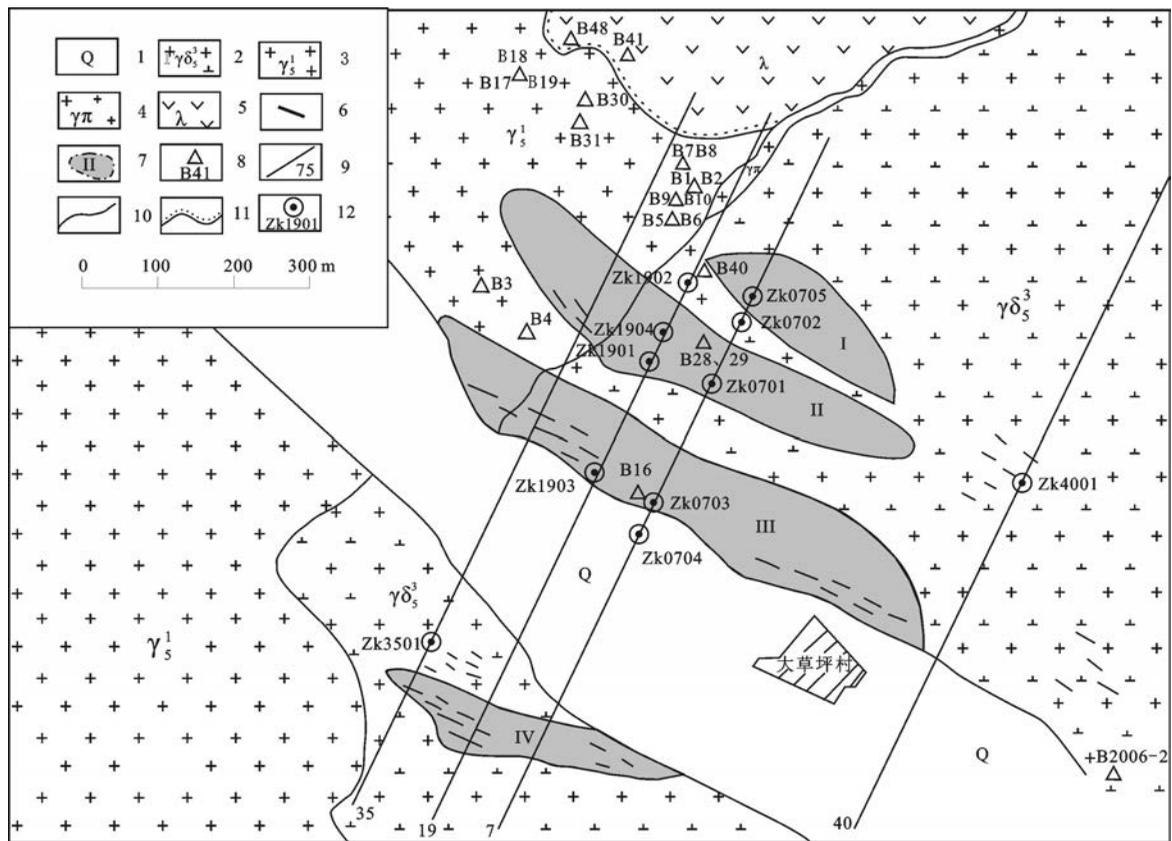


图2 大草坪钼矿区地质简图(据段焕春等,2007)

Fig.2 Schematic geological map of the Dacaooping molybdenum deposit in Fengning County, Hebei Province(from Duan et al.,2007)

- 1. 第四系;2. 燕山期花岗闪长岩;3. 印支期花岗岩;4. 花岗斑岩脉;5. 流纹岩;6. 石英岩脉;7. 钼矿带位置及编号;
- 8. 采样位置及编号;9. 勘探线位置及编号;10. 实测地质界线;11. 不整合界线;12. 钻孔位置及编号

对钼矿起到控制作用。花岗闪长岩呈岩株状侵入花岗岩中,接触带附近石英脉较发育并见钼矿化。

其余岩石多呈脉岩产出。矿区内细晶岩、煌斑岩脉沿汤河断裂两侧发育,大多呈北西向平行分布,常被石英脉穿插。

围岩蚀变有钾长石化、绢云母化、硅化及高岭土化等,其中钾化、硅化和绢云母化与钼矿化关系密切。地表及浅部围岩蚀变表现为沿裂隙分布,蚀变幅度窄,一般沿裂隙两侧不大于20~30 cm。深部孔中见钾化、硅化较为普遍,具有面型蚀变的特征。

## 1.2 岩相学特征

### 1.2.1 大草坪花岗岩

岩石风化面呈灰白色,新鲜面呈灰白色-肉红色,岩石具变余细中粒花岗结构、似斑状结构,基质为细中粒花岗结构,块状构造。主要矿物有钾长石(45%~50%)、斜长石(25%~30%)、石英(20%~25%),少量黑云母(<5%),副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿和榍石。矿物粒径以2~5 mm中粒居多,小于2 mm细粒次之。钾长石呈他形-半自形宽板状,具高岭土化。斜长石呈半自形板状,具高岭土化、绢云母化,有的标本见机械双晶,与钾长石接触边部见交代净边结构。少量已重结晶呈细粒镶嵌状变晶集合体。石英呈他形、齿形粒状集合体,粒内具波状消光、亚颗粒。黑云母呈褐色片状,有的被绿泥石、白云母取代。局部见钾长石、斜长石已重结晶,呈细粒镶嵌状变晶集合体。

### 1.2.2 大草坪花岗闪长岩

岩石风化面呈灰白色-黄褐色,新鲜面呈灰白色-浅肉红色,似斑状结构,块状构造,斑晶主要由钾长石和少量斜长石组成,基质为长石、石英、角闪石、黑云母。矿物粒径以小于2 mm为主,较少可达2~2.5 mm。斜长石呈半自形板状,具绢云母化、高岭土化、碳酸盐化,见机械双晶,具环带构造,有的包于钾长石内。钾长石呈他形-半自形宽板状,具有高岭土化、局部碳酸盐化。石英呈他形粒状,具有波状消光。黑云母呈褐色片状,局部绿泥石化。角闪石呈绿色柱状,局部被黑云母交代。岩内少量裂纹,被碳酸盐充填。

岩石成分:斜长石 30%~60%;钾长石 15%~35%;石英 25%~20%;黑云母 <5%;角闪石少量。副矿物:磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石。

## 2 岩石地球化学特征

本文选取具有代表性的花岗岩样品5件、花岗闪长岩样品6件和含矿石英脉样品2件进行了测定。主量元素测定在华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成,用X光荧光光谱法(XRF)测定,其中烧失量通常用1 g样品加热1000℃保持5小时的方法测定,FeO用化学滴定的方法测定;稀土元素测定在国家地质实验测试中心完成,用等离子质谱法(ICP-MS)测定。

### 2.1 地球化学特征

本文13件样品的岩石化学分析数据与中国及世界花岗岩类岩石数据<sup>[4-5]</sup>一并列入表2,相应的CIPW标准矿物和主要参数计算见表3、表4。

#### (1) 花岗岩地球化学特征

花岗岩SiO<sub>2</sub>含量为71.42%~73.23%,平均为72.49%,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O为8.03%~8.37%,平均为8.13%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比值为0.97~1.15,K<sub>2</sub>O/CaO比值为2.87%~4.53%,与中国及世界花岗岩相比:大草坪花岗岩SiO<sub>2</sub>平均含量偏高、碱质含量较高、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O相当、K<sub>2</sub>O/CaO较高,说明大草坪花岗岩除富含碱质外,较富钾而贫钙。

AKI[即过碱指数,为(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的分子比]为0.60~0.63,平均为0.61,碱度率(A.R.)为3.38~3.75,平均为3.59,分异指数(DI)为88.24~91.35,平均为90.35,大于世界花岗岩DI值84及W、Sn矿化花岗岩DI值88,说明分异好,酸度程度高。

花岗岩类硅碱图<sup>[6]</sup>(图3)上,大草坪花岗岩属亚碱性系列。在FAM图<sup>[7]</sup>(图4)上,大草坪花岗岩投影在钙碱性系列区。KNA-SiO<sub>2</sub>图解(图5)上该岩石也投在钙碱性系列区。

K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图上(图6),花岗岩投影在高钾钙碱性系列,参考前面矿物组合,特别是副矿物的组合,主要属于钙碱性-高钾钙碱性花岗岩类<sup>[8]</sup>。

#### (2) 花岗闪长岩地球化学特征

花岗闪长岩SiO<sub>2</sub>含量为65.56%~68.5%,平均为67.53%,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O为7.54%~8.67%,平均为8.00%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比值为0.87~1.57,K<sub>2</sub>O/CaO比值为1.38%~2.70%,与中国及世界花岗闪长岩相比,大草坪花岗闪长岩SiO<sub>2</sub>平均含量相比偏高、碱质含量较高、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O较高、K<sub>2</sub>O/CaO较高,说明该花岗闪长岩

表2 大草坪钼矿区岩体岩石化学分析数据及对比表  
Table 2 Petro-chemical analytical data and comparison results of the Dacaooping intrusion

样品号	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	LOI	Total	资料来源
B2		72.86	0.13	13.40	1.14	0.92	—	0.40	1.04	3.99	4.04	0.096	0.20	1.44	99.66	
B4		73.23	0.13	13.00	0.91	0.70	—	0.47	1.07	3.91	4.22	0.046	0.042	1.30	99.03	
B6	花岗岩	72.74	0.13	13.46	0.79	1.03	—	0.41	0.99	3.89	4.48	0.033	0.028	1.10	99.08	本文
B8		71.42	0.18	13.38	0.84	1.57	—	0.57	1.39	3.89	4.14	0.043	0.11	1.36	98.89	
B10		72.2	0.14	13.04	0.91	0.92	—	0.45	1.39	4.10	3.99	0.034	0.028	1.56	98.76	
1		72.49	0.14	13.26	0.92	1.03	—	0.46	1.18	3.96	4.17	—	—	—	97.61	据代军治,2008
ZK1901-205		65.56	0.44	15.20	1.02	3.63	—	1.17	1.96	3.37	5.30	0.14	0.34	1.76	99.89	
ZK1901-310		67.35	0.40	14.02	1.51	3.09	—	1.23	2.31	3.38	4.27	0.13	0.31	1.48	99.48	
PD1-1	花岗岩闪长岩	67.28	0.43	13.78	1.27	1.68	—	1.23	2.37	3.58	4.27	0.16	0.42	2.78	99.25	本文
B2006-2		68.50	0.37	13.67	2.26	1.82	—	0.91	2.32	3.80	3.74	0.12	0.028	1.86	99.40	
PD1-2		68.26	0.43	15.03	1.20	1.49	—	1.18	2.15	3.67	4.60	0.16	0.50	2.16	100.83	
ZK1901-91		68.21	0.44	15.80	1.54	1.80	—	1.19	2.69	4.29	3.72	0.18	0.11	0.55	100.52	
2		67.35	0.42	14.58	1.47	2.25	—	1.15	2.3	3.68	4.32	—	—	—	97.52	据代军治,2008
14	中国酸性岩	70.40	0.31	14.48	1.38	1.77	0.05	0.96	1.93	3.77	3.79	0.18	—	—	99.02	黎彤等,1998
15	中国花岗岩	71.27	0.25	14.25	1.24	1.62	0.08	0.80	1.62	3.79	4.03	0.16	0.33	0.89	100.33	黎彤等,1963
16	世界花岗岩	71.30	0.31	14.32	1.21	1.64	0.05	0.71	1.84	3.68	4.07	0.12	0.05	0.81	100.11	R.W.Le Maitre, 1976
17	中国花岗岩闪长岩	64.98	0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.94	3.70	3.67	2.95	0.32	0.29	—	99.17	黎彤等,1963
18	世界花岗岩闪长岩	66.09	0.54	15.73	1.38	2.73	0.08	1.74	3.83	3.75	2.73	0.18	0.08	—	98.86	R.W.Le Maitre, 1976
19	世界花岗岩闪长岩 (平均值)	66.88	0.57	15.66	1.33	2.59	0.07	1.57	3.56	3.84	3.07	0.21	—	—	99.35	S.R.Nockolds, R. Allen, 1954

注:分析测试单位为华北有色地质勘查局燕郊中心实验室

表3 大草坪钼矿区岩体岩石的岩石化学指数

样品号	岩性	$\sigma$	AR	DI	SI	资料来源
B2	花岗岩	2.14	3.51	90.97	3.82	本文
B4		2.17	3.74	91.35	4.61	
B6		2.34	3.75	91.17	3.87	
B8		2.24	3.38	88.24	5.18	
B10		2.21	3.55	90.23	4.34	
1		2.22	3.58	90.15	4.37	据代军治,2008
ZK1901-205		3.28	3.04	80.07	8.07	
ZK1901-310		2.37	2.76	79.48	9.12	
PD1-1	花岗闪长岩	2.48	2.89	82.64	10.22	本文
B2006-2		2.19	2.78	81.79	7.29	
PD1-2		2.68	2.86	83.63	9.72	
ZK1901-91		2.54	2.53	79.94	9.49	
2		2.58	2.8	80.62	8.94	据代军治,2008

表4 大草坪钼矿区岩体岩石的CIPW标准矿物成分

Table 4 CIPW standard mineral composition of rocks from the Dacaoing Molybdenum deposit

样品号	岩性	Q	An	Ab	Or	C	Di	Hy	Il	Mt	Ap	Cc	资料来源
B2	花岗岩	32.28	3.33	34.38	24.31	1.29	—	2.1	0.25	1.36	0.23	0.46	本文
B4		31.97	4.85	33.86	25.52	0.27	—	1.99	0.25	1.08	0.11	0.1	
B6		30.56	4.61	33.59	27.02	0.57	—	2.09	0.25	1.17	0.08	0.06	
B8		29.41	6.07	33.75	25.08	0.34	—	3.4	0.35	1.25	0.1	0.26	
B10		30.28	5.55	35.69	24.26	0	0.93	1.63	0.27	1.23	0.08	0.07	
1		30.57	6	34.33	25.25	0.09	—	2.18	0.27	1.32	—	—	据代军治,2008
ZK1901-205	花岗闪长岩	19.09	6.79	29.06	31.92	1.51	—	8.16	0.85	1.51	0.33	0.79	本文
ZK1901-310		24.55	8.83	29.18	25.75	0.68	—	6.97	0.78	2.23	0.31	0.72	
PD1-1		25.08	8.35	31.4	26.16	0.33	—	4.55	0.85	1.91	0.38	0.99	
B2006-2		26.14	9.43	32.98	22.67	—	1.15	3.95	0.72	2.6	0.29	0.07	
PD1-2		24.61	6.55	31.47	27.55	1.67	—	4.03	0.83	1.76	0.38	1.15	
ZK1901-91		21.64	11.48	36.31	21.99	0.51	—	4.41	0.84	2.15	0.42	0.25	
2		22.51	10.77	31.93	26.18	—	0.76	4.84	0.82	2.19	—	—	

除富含碱质外,较富钾,贫钙。

AKI为0.51~0.57,平均为0.55,碱度率(A.R.)为2.53~3.04,平均为2.81,分异指数(DI)为79.48~83.63,平均为81.17,大于一般花岗闪长岩的DI值67,但又小于W、Sn矿化花岗岩的DI值88,故它较一般花岗闪长岩更酸性,分异变好但总体仍较W、Sn矿化花岗岩分异差。

花岗岩类硅碱图(图3)上,大草坪花岗闪长岩属亚碱性系列。在FAM图(图4)上,大草坪花岗闪长岩投影在钙碱性系列区。KNA-SiO<sub>2</sub>图解(图5)上该岩石也投在钙碱性系列区。

K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图上(图6),花岗闪长岩亦投影在高钾钙碱性系列。参考前面矿物组合,特别是副矿物的组合,主要属于钙碱性-高钾钙碱性花岗岩类<sup>[8]</sup>。

综上所述,大草坪花岗岩类岩石属亚碱性岩石

中的钙碱性系列,具高钾特征。

## 2.2 稀土元素特征

将大草坪花岗岩、花岗闪长岩和矿体(石英脉)的稀土元素含量列于表5。相应的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线示于图7。由表5和图7可以看出:

花岗岩稀土元素含量 $\Sigma$ REE介于 $85.1 \times 10^{-6}$ ~ $105.5 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 $95.3 \times 10^{-6}$ 。LREE/HREE比值介于5.62~6.96,平均为6.48。反映轻重稀土分离程度的(La/Yb)<sub>N</sub>比值介于23.15~30.49,平均27.46。dEu=0.72~0.92,平均0.82。

花岗闪长岩稀土元素含量 $\Sigma$ REE变化于 $145.3 \times 10^{-6}$ ~ $160.0 \times 10^{-6}$ 之间,平均 $153.6 \times 10^{-6}$ 。LREE/HREE比值介于7.43~8.09,平均为7.81。反映轻重稀土分离程度的(La/Yb)<sub>N</sub>比值介于25.46~

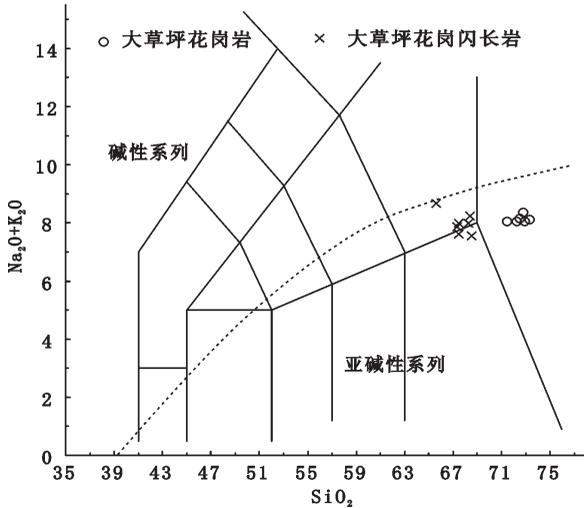


图3 大草坪花岗岩类岩石硅-碱图

(据 Rollison, 1993; 转引自陈光远等, 1993)

Fig.3 Alkaline-silica diagram of the Dacaoing intrusion

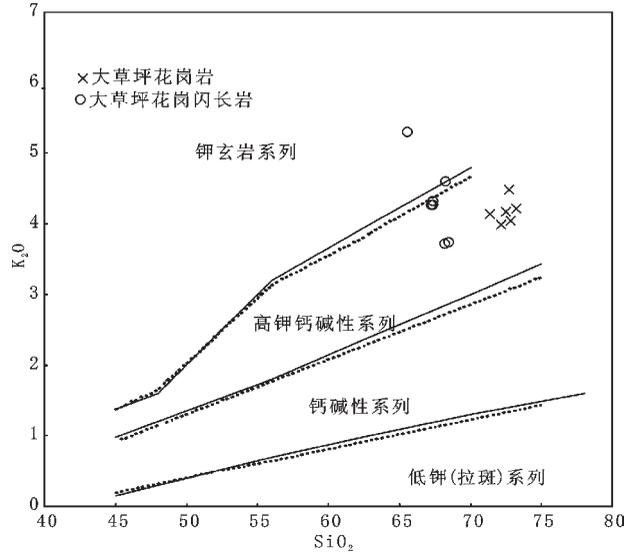


图6 大草坪花岗岩类岩体的K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图

(据 Rickwood, 1989)

Fig.6 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram of the Dacaoing intrusion

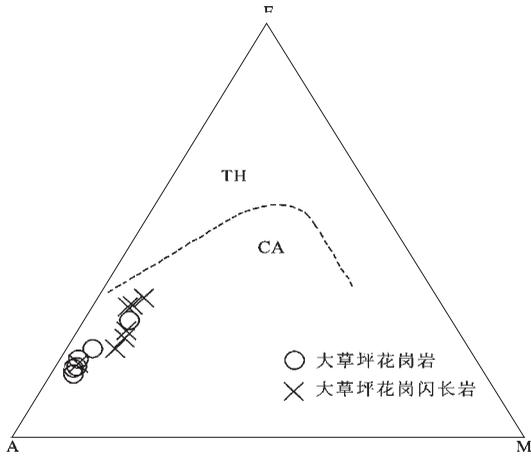


图4 大草坪岩体的AFM图(据 Irvine, 1971)

Fig.4 AFM diagram of the Dacaoing intrusion

TH-拉斑玄武岩系列; CA-钙碱性系列;

F=FeO+ 0.8998Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; A= Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O; M=MgO

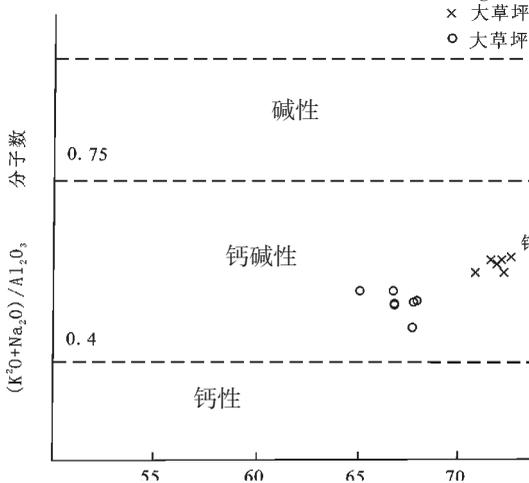


图5 KNA-SiO<sub>2</sub>图解(据陈光远等, 1993)

Fig.5 KNA-SiO<sub>2</sub> diagram of the Dacaoing intrusion

KNA=(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(分子数比)

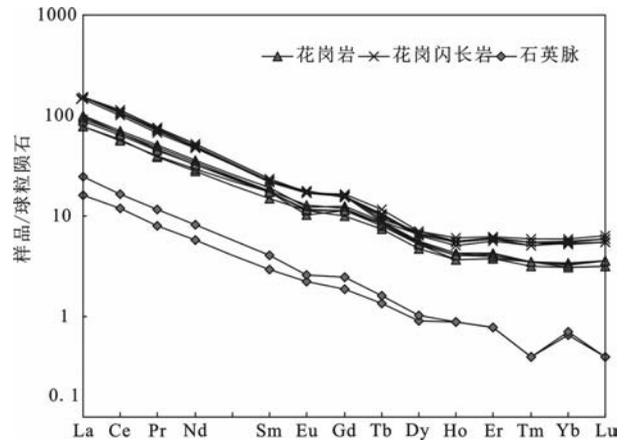


图7 大草坪钼矿区岩矿石稀土配分模式图

Fig.7 Chondrite-normalized REE distribution of rocks and minerals from the Dacaoing Molybdenum deposit, Hebei Province

28.69, 平均27.54。dEu=0.85~0.97, 平均0.91。

石英脉稀土元素含量为  $17.39 \times 10^{-6} \sim 24.35 \times 10^{-6}$  之间, 平均  $20.87 \times 10^{-6}$ 。LREE/HREE 比值介于 6.43 ~ 8.33, 平均为 7.18。反映轻重稀土分离程度的  $(La/Yb)_N$  比值介于 24.71 ~ 35.21, 平均 29.96。dEu=0.79~0.94, 平均 0.88。

由表5、图7及上述分析结果可见本区稀土元素有如下特征:

(1) 石英脉与大草坪花岗岩、花岗岩闪长岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式曲线都一致向右倾斜, 并近于平行。

(2) 从花岗岩闪长岩到花岗岩再到石英脉(矿体),

表5 大草坪钼矿岩矿石的稀土元素(ppm)

Table 5 REE elements of rocks and minerals from the Dacaoping Molybdenum deposit

样品号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE	HREE	ΣREE	LREE/HREE	δ Eu	(La/Yb) <sub>N</sub>
B2		18.5	35.2	3.69	13.1	2.26	0.66	2.08	0.28	1.2	0.21	0.63	0.09	0.53	0.08	6.6	73.41	11.7	85.11	6.27	0.92	25.04
B4	花	22.1	40.8	4.37	15.3	2.65	0.65	2.35	0.3	1.31	0.21	0.63	0.08	0.52	0.08	6.86	85.87	12.34	98.21	6.96	0.78	30.49
B6	岗	18.4	34.2	3.81	13.6	2.67	0.6	2.3	0.32	1.39	0.24	0.71	0.09	0.57	0.09	7.38	73.41	13.04	86.32	5.62	0.72	23.15
B8	岩	23.6	43.3	4.8	16.7	2.9	0.71	2.55	0.33	1.44	0.24	0.66	0.09	0.56	0.09	7.52	92.01	13.53	105.54	6.79	0.79	30.23
B10		22.9	41.3	4.59	16.1	2.71	0.74	2.34	0.31	1.37	0.23	0.69	0.09	0.58	0.09	7.32	88.34	13.11	101.45	6.74	0.86	28.32
1		21.1	38.96	4.25	14.96	2.64	0.67	2.34	0.31	1.34	0.23	0.66	0.09	0.55	0.09	7.14	82.58	12.75	95.33	6.48	0.83	27.52
ZK1901-205		34.4	60.9	6.32	22.1	3.33	1.04	3.12	0.37	1.67	0.32	0.97	0.14	0.88	0.14	9.58	128.09	17.19	145.28	7.45	0.97	28.04
ZK1901-310	花	36.7	65.0	6.73	23.0	3.45	0.98	3.20	0.39	1.65	0.31	0.97	0.14	0.92	0.14	9.79	135.86	17.51	153.37	7.76	0.89	28.61
PD1	岗	36.0	63.9	6.71	22.7	3.33	1.04	3.14	0.37	1.61	0.29	0.92	0.13	0.9	0.14	9.07	133.68	16.57	150.25	8.07	0.97	28.69
B2006-2	闪	35.5	69.7	7.18	24.1	3.57	0.98	3.36	0.44	1.8	0.34	1.03	0.15	1	0.16	10.7	141.03	18.98	160.01	7.43	0.85	25.46
PD1-1	长	36.5	68.5	7.1	24.4	3.62	1.01	3.33	0.35	1.77	0.32	1.00	0.14	0.96	0.15	9.48	141.13	17.5	158.63	8.09	0.87	27.27
ZK1901-19	岩	36.5	66.7	6.7	23.1	3.36	0.97	3.19	0.33	1.66	0.31	0.98	0.13	0.96	0.15	9.27	137.33	16.98	154.31	8.09	0.89	27.42
2		35.93	65.78	6.79	23.23	3.44	1.00	3.22	0.38	1.69	0.32	0.98	0.14	0.94	0.15	9.65	136.17	17.39	153.64	7.79	0.92	27.42
PD1-1	石	3.79	7.26	0.76	2.66	0.45	0.13	0.38	0.05	0.23	0.05	0.13	0.01	0.11	0.01	1.37	15.05	2.34	17.39	6.43	0.94	24.71
PD15	英	5.89	10.2	1.10	3.78	0.62	0.15	0.51	0.06	0.26	0.05	0.13	0.01	0.12	0.10	1.46	21.74	2.61	24.35	8.33	0.79	35.21
	脉																					

注:分析测试单位为 国家地质实验测试中心;样品 1,2 号来自代军冶,2008

稀土总量相对降低(分别为  $145.3 \times 10^{-6} \sim 160 \times 10^{-6}$ , 平均  $153.6 \times 10^{-6}$ ;  $85.1 \times 10^{-6} \sim 105.4 \times 10^{-6}$ , 平均为  $95.3 \times 10^{-6}$ ;  $17.4 \times 10^{-6} \sim 24.4 \times 10^{-6}$ , 平均为  $20.9 \times 10^{-6}$ ), 轻、重稀土元素比值也相对降低(分别为  $7.43 \sim 8.09$ , 平均为  $7.81$ ;  $5.62 \sim 6.96$ , 平均为  $6.48$ ;  $6.43 \sim 8.33$ , 平均为  $7.18$ )。

(3)石英脉与大草坪花岗岩、花岗闪长岩稀土元素 LREE/HREE 比值及稀土配分模式显示,三者都属于轻稀土元素富集、重稀土元素亏损型;(La/Yb)<sub>N</sub> 比值显示三者都属轻重稀土中等分离型。

(4)在各类岩浆岩中 Eu 异常的产生常与斜长石的残留有关,较多的 Eu 存在于斜长石中使得部分熔融出的岩浆缺乏 Eu 而呈现负异常。本区大草坪岩体具有轻微的 Eu 负异常,花岗闪长岩、花岗岩的 δ Eu 平均值分别为 0.91、0.82,说明岩浆形成的源区基本不存在斜长石残留,岩浆形成深度较大。

上述特征显示矿体与大草坪花岗岩质岩石的稀土特征既具相似性,又具有一定的差异,两者在轻稀土富集程度、轻重稀土分离程度、铕异常及元素配分模式方面较为相似,但是在稀土总量和 LREE/HREE 比值方面不同(与岩石成分有关),说明他们之间的稀土含量变化具有相似性,反映了矿体与岩体具有明显的同源分异特征。

### 3 同位素地球化学研究

原始铅同位素  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  数据列入表 6,

表6 大草坪钼矿床岩石中原始铅同位素组成

Table 6 Initial lead isotope compositions of rocks from the Dacaoping molybdenum dposit

岩石类型	样号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
花岗闪长岩	ZK1901-205-2	18.513	15.620
	ZK1901-310-2	18.969	15.617
花岗岩	B <sub>3</sub> -1	18.365	15.609
	B <sub>3</sub> -2	18.318	15.609
	B <sub>3</sub> -3	15.959	15.358
	B <sub>4</sub> -1-1	18.318	15.609
	B <sub>4</sub> -1-2	18.302	15.608
	B <sub>4</sub> -3	18.365	15.612
	B <sub>8</sub> -1-1	18.350	15.611
	B <sub>8</sub> -1-2	18.318	15.609

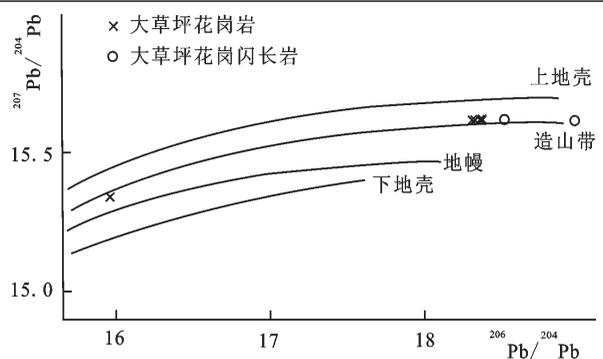


图8 大草坪钼矿床岩体中初始铅同位素组成图

(据Doe et al.,1979)

Fig.8 Initial lead isotope composition diagram of the intrusion in the Dacaoping molybdenum deposit

表7 大草坪钼矿区硅同位素组成

Table 7 The silicon isotope compositions of the the Dacaoping Molybdenum deposit

样品名称	样号	$\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}/\text{‰}$	t/°C
花岗闪长岩(石英)	PD1	0	—
	ZK1901-104	0.2	—
花岗岩(石英)	ZK83-1-406	0.1	—
	B4	0.2	—
坑道矿石(石英)	PD1-1	-0.1	400
花岗闪长岩(石英)	ZK1901-150	0.2	400
机井矿石(石英)	JJ-1	0.1	400

在Doe和Zartman图<sup>[9]</sup>上投点(图8),总体上落在上地壳和造山带附近,尤其是与成矿有直接关系的花岗闪长岩中的铅同位素组成的两个样点全落在造山带曲线附近,但花岗岩中极个别点却落在上地幔曲线附近。这充分说明,花岗闪长岩及花岗岩主体上是壳源,在造山带中经过改造重熔过程而形成。燕山造山带在华北地台上表现十分强烈。燕山期钼矿等多金属矿形成无疑受燕山造山带的控制及制约。另外,花岗岩中极个别样中显示来自地幔物质,这也表明原始物质来自古老地层(前寒武系)。侏罗纪的火山喷发过程混入一些元古宙时代的老地层信息在锆石U-Pb测年结果中也有反映。这充分表明大草坪成岩、成矿物质主要来源于地壳,但混有少量地幔组分。

从表7可看出,大草坪钼矿矿石中石英的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 变化范围为-0.1‰~0.2‰,平均为0.07‰,接近0.1‰,与花岗闪长岩岩体的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (0.1‰)和花岗岩岩体的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (0.15‰)非常接近,这暗示着矿石的硅来源于岩体。从花岗闪长岩岩体的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (范围为0.0‰~0.2‰,平均为0.1‰)和花岗岩岩体的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (范围为0.1‰~0.2‰,平均为0.15‰)可以看出,两者具有共同的母岩浆来源。

大草坪钼矿的硫同位素组成分析结果见表8。大草坪钼矿的硫同位素显示,辉钼矿与黄铁矿中的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成基本一致,均介于2.8‰~4.4‰之间,均值为3.4‰,为小的正值,具有明显的塔式分布特征(图9),说明大草坪钼矿床的硫可能主要源于重熔岩体本身。

从Pb、Si、S同位素地球化学研究得出结论:①大草坪花岗岩与花岗闪长岩岩体具有共同的母源岩浆来源,岩体具壳幔混源特征,为I型花岗岩;②岩体可为成矿提供一定物质来源。

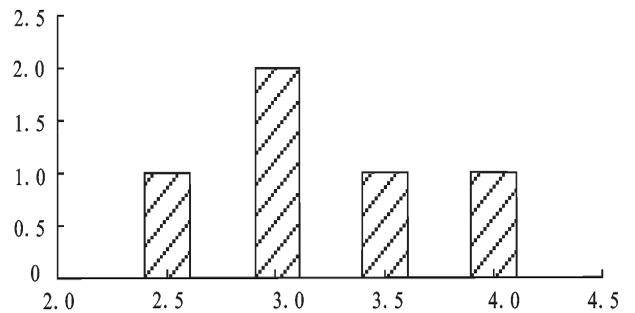


图9 大草坪钼矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 分布图

Fig.9 Distribution of  $\delta^{34}\text{S}$  in Dacaoping Molybdenum deposit

表8 大草坪钼矿硫同位素组成

Table 8 The sulfur isotope compositions of the Dacaoping Molybdenum deposit

样品名称	样号	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$
花岗岩中黄铁矿	JJ-2	3.0
花岗岩中辉钼矿	JJ-3	2.8
花岗闪长岩中辉钼矿	ZK1901-150-1	3.3
花岗闪长岩中黄铁矿	ZK1901-150-2	4.4
辉钼矿	PD1-1	3.6

### 4 岩石成因探讨

(1)将本区花岗岩类岩石的化学分析资料,用CIPW计算成标准矿物,将其中Q、Ab、Or换算成100,并求出三者比例投图(图10、图11)。据图11,大草坪花岗岩类岩石投点集中,绝大部分落在岩浆成因区内,并部分穿过密集区。

大草坪花岗岩与花岗闪长岩呈侵入接触关系,块状构造,造岩矿物大多数晶形完整,显示结晶时有自由的空间,是岩浆成因的标志。

(2)根据岩浆形成后是否上升侵位的特点分为三种类型:①岩浆形成于原地未上侵者为原地型花岗岩;②有部分岩浆略有上侵者为半原地型花岗岩;

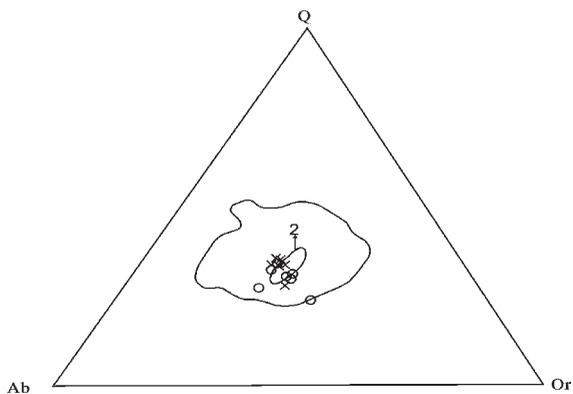


图10 大草坪花岗岩类岩石Q–Ab–Or图解  
(转引自陈光远等,1993)

Fig.10 Q–Ab–Or diagram of the Daccaoping intrusion  
2.花岗岩最密集分布区; x.大草坪花岗岩;  
o.大草坪花岗闪长岩

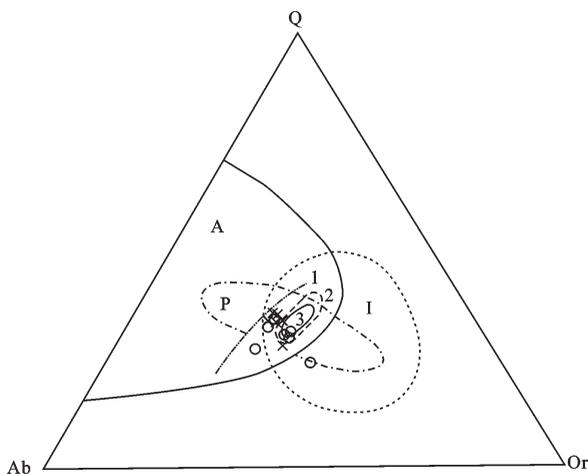


图11 大草坪花岗岩类岩石Q–Ab–Or图解  
(据Bowes,1967;转引自陈光远等,1993)

Fig.11 Q–Ab–Or diagram of the Daccaoping intrusion  
1.最低点与同结线连线;2.花岗岩最密集分布区;3.低温槽;  
A.原地花岗岩;P.半原地花岗岩;I.侵入花岗岩; x.大草坪花  
岗岩; o.大草坪花岗闪长岩

③岩浆向浅处强烈侵位者为侵入型花岗岩。据Bowes(1967)投图(图11),可知大草坪花岗岩类岩石以侵入花岗岩为主,个别有原地花岗岩或半原地型花岗岩。

(3)用稀土元素研究花岗岩的成因被认为是一种行之有效的方法。本区花岗岩类岩石具有轻微的Eu负异常,花岗闪长岩、花岗岩的 $\delta Eu$ 平均值分别为0.91、0.82,说明岩浆形成的源区基本不存在斜长石残留,岩浆形成深度较大;LREE/HREE=5.62~8.09,这些特征与我国壳幔型花岗岩<sup>[11,12]</sup>相似,与徐克勤确定的同熔型花岗岩范围相当。

(4)对原始铅同位素 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 研究认为岩体具壳幔混源特征,为I型花岗岩。

因此,综合研究认为,大草坪岩体的成因类型为I型花岗岩,具壳幔混源特征。岩浆形成深度较大,侵位特征以侵入花岗岩为主。

### 5 结论

(1)大草坪花岗岩富含硅、碱质,相比富含 $K_2O$ ,而贫 $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ ;分异指数DI平均为90.35,说明其分异好;碱度指数AR平均值为3.59,及岩石化学分析结果投点(硅碱图、FAM图、 $K_2O-SiO_2$ 图等)特征,应归属于亚碱性岩石中的钙碱性系列,具高钾特征;花岗岩稀土元素含量 $\Sigma REE$ 介于 $85.1 \times 10^{-6} \sim 105.4 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 $95.3 \times 10^{-6}$ ;岩石的轻稀土含量大于重稀土,LREE/HREE比值介于5.62~6.96,平均为6.48;Eu异常不明显,dEu=0.72~0.92,平均0.82;球粒陨石标准化配分模式曲线为右倾单斜。

(2)大草坪花岗闪长岩富含硅、碱质,相比富含钾,而贫 $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ ;分异指数DI平均为81.17,说明其分异好,酸性程度高;碱度指数AR平均值为2.81,及岩石化学分析结果投点(硅碱图、FAM图、 $K_2O-SiO_2$ 图等)特征,应归属于亚碱性岩石中的钙碱性系列,具高钾特征;花岗闪长岩稀土元素的 $\Sigma REE$ 变化于 $145.3 \times 10^{-6} \sim 160.0 \times 10^{-6}$ 之间,平均 $153.6 \times 10^{-6}$ ;岩石的轻稀土含量大于重稀土,LREE/HREE比值介于7.43~8.09,平均为7.81;Eu异常不明显,dEu=0.85~0.97,平均0.91;球粒陨石标准化配分模式曲线为右倾单斜。

(3)大草坪花岗岩与花岗闪长岩具有相似的岩石地球化学特征,说明二者具有同源性,岩体的成因类型为I型花岗岩,其岩浆物质具壳幔混源特征。岩浆形成深度较大,侵位特征以侵入花岗岩为主。

(4)段焕春等认为大草坪钼矿与大草坪花岗闪长岩成岩、成矿同期<sup>[3]</sup>。本文结合岩体与矿体的主量元素、稀土元素、同位素地球化学特征认为:岩体与矿体具有明显的同源分异特征,并且可为成矿提供一定物质来源。

#### 参考文献:

[1] 黄典豪,杜安道,吴澄宇,等.华北地台钼(铜)矿鍊-钼年龄及其地质意义[J].矿床地质,1996,15(4):289-297.  
[2] 段焕春,秦正永,林晓辉,等.河北省丰宁县大草坪钼矿区

- 岩体锆石 U-Pb 年龄研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(6): 634-642.
- [3] 段焕春. 冀北上黄旗构造岩浆岩带北段钼多金属成矿规律及找矿远景研究[D]. 博士后出站报告, 合作导师: 毛景文. 2007.
- [4] 代军治. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用及成矿动力学背景[D]. 中国地质科学院, 2008.
- [5] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆岩的平均化学成分[J]. 地质学报, 1963, 43(3): 271-280.
- [6] 陈光远, 孙岱生, 周珣若, 等. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化[M]. 中国地质大学出版社, 1993, 1-230.
- [7] Irvine T N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canad J. Earth Sci*, 1971, 8: 523-548.
- [8] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 地质出版社, 北京, 2002.
- [9] Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics[A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[C]. New York: John Wiley and Sons, 1979, 22-70.
- [10] 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, 1-495.
- [11] 徐克勤, 陆建军, 倪培, 等. 与金矿有关花岗岩类的岩石地球化学特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1992, 12(2): 1-9.

## Petrological and Geochemical Characteristics and Significance of the Granitic Intrusion in the Dacaoping Mo Deposit, Fengning County, Hebei Province

WANG Yan-hui

(Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** The Dacaoping intrusion is composed of granite and granodiorite bodies, and the former intrudes in the latter. Quartz veins and molybdenum mineralization can be seen in the contact zone. The granite and granodiorite have the similar geochemical characteristics. The major elements are rich in silicon and alkali, generally with a high potassium content. They belong mainly to calc-alkaline series. Chondrite normalized patterns show that the both rocks enrich light rare earth elements (LREE), chondrite-normalized curves are tilted to the right consistently, and the curves are nearly parallel to each other. The characteristics above suggest that the both rocks are homology. All this showing that the rocks are from I-type granite which come from the mixing of shell and mantle, and the tectonic environment of the rocks is orogenic environment. The rocks and ore bodies have homologous differentiation obviously, the rocks can provide ore-forming materials for the molybdenum ore.

**Keywords:** Dacaoping intrusion; major element; rare earth element; genetic type; Fengning County