

内蒙盘陀山含钨花岗岩体地质地球化学特征及成因讨论

赵国斌¹, 李文明¹, 杨合群¹, 田永堂¹, 高永伟¹, 杜涛¹,
全守村¹, 乔耿彪¹, 雷永孝¹, 杨涛¹, 冯斌²

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

[摘要] 盘陀山花岗岩体位于内蒙北山盘陀山—古铜井近东西向挤压隆起带西段, 为一复式岩体, 由花岗闪长岩和钾长花岗岩两种岩石单元构成, 其中晚期侵入的钾长花岗岩与近年新发现的国庆钨矿床有关。前人测得成矿岩体的锆石 U-Pb 同位素年龄为 383.3 ± 1.8 Ma, 时代为泥盆纪。成矿岩体岩石的 Rittman 指数为 $1.86 \sim 2.28$, A/CNK 平均值为 1.12, 属过铝质高钾钙碱性花岗岩。岩石的 La_N/Yb_N 值为 $1.90 \sim 7.63$, δEu 值为 $0.09 \sim 0.63$, Nb/Ta 值为 $1.07 \sim 10.77$, Rb/Sr 值为 $0.41 \sim 5.34$, 说明岩浆来源于地壳, 具有明显的重熔型花岗岩特征。作者研究认为, 在早古生代该区属白玉山—方山口—鹰嘴红山被动陆缘带, 到泥盆纪本区进入板块碰撞造山阶段, 动力转化为热量, 前寒武纪古陆壳发生部分重熔, 生成了含钨花岗岩浆。岩体的成矿作用主要有两个阶段: 第一阶段, 岩浆上侵后, 挥发份携带部分成矿元素向顶部运移, 并在岩体内接触带聚集, 形成了顶部接触带型钨矿体群; 第二阶段, 随着岩体由边部向内部结晶, 残余岩浆中挥发分及成矿元素逐步富集, 最终在成矿岩体中部形成了石英细脉带型钨矿体群。

[关键词] 盘陀山花岗岩 成矿特征 地球化学特征 成因机制 内蒙北山

[中图分类号] P618.31 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)05-828-09

Zhao Guo-bin, Li Wen-ming, Yang He-qun, Tian Yong-tang, Gao Yong-wei, Du Tao, Quan Shou-cun, Qiao Geng-biao, Lei Yong-xiao, Yang Tao, Feng Bin. Geological and geochemical characteristics of the Pantuoshan tungsten-bearing granite mass in Inner Mongolia and its genesis [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(5): 828-836

在我国北山地区, 花岗岩类侵入岩广泛出露, 总出露面积约占整个北山地区面积的 30%, 具有形成与花岗岩有关钨矿床的有利条件。许多学者对北山地区不同地段花岗岩及其有关的钨矿床进行了深入研究(聂凤军等, 2002, 2003, 2004; 江思宏等, 2006a, 2006b; 张新虎等, 2008; 杨合群等, 2009a, 2010)。最近, 我们在内蒙北山月牙山—洗肠井蛇绿岩带南侧的盘陀山—古铜井近东西向挤压隆起带中识别出盘陀山—鹰嘴红山含钨花岗岩带(杨合群等, 2010)。该花岗岩带近东西向展布, 长约 100 km, 从西至东依次有盘陀山、半岛山、望旭山和鹰嘴红山 4 个岩

体。自 20 世纪 50 年代甘肃省地质局祁连山地质队在盘陀山—古铜井近东西向挤压隆起带东段发现了鹰嘴红山中型钨矿床后, 近几年西安地质矿产研究所和陕西省地调院又在该隆起带相继发现了国庆钨矿床和望旭山钨矿床(李文明等, 2008)。这几处钨矿床分别与鹰嘴红山、望旭山和盘陀山花岗岩体关系密切, 显示出本区具有良好的钨矿成矿潜力。因此, 加强对该区花岗岩的研究, 对于深化北山地区大地构造演化和成矿作用的认识、总结区域成矿规律以及指导本地区找矿勘查工作均具有重要意义。本文主要研究盘陀山含钨花岗岩体的大地构造背景、

[收稿日期] 2010-10-18; [修订日期] 2011-03-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家专项“北山成矿带找矿重大疑难问题研究”项目(1212010531602)、内蒙古自治区“内蒙古额济纳旗国庆钨矿普查”项目(05-6-KC3)和国家专项“北山—祁连成矿带勘查部署与选区研究”项目(1212011085083)资助。

[第一作者] 赵国斌(1978年-), 男, 助理研究员, 地质矿产专业, E-mail: zhaoguo12345@sina.com。

成矿特征和地球化学特征,并对其成因进行讨论。

1 成矿地质背景

北山地区位于新疆-甘肃-内蒙古衔接部位,属于中亚古生代造山带的一部分。目前,对于北山地区大地构造单元划分方案分歧很大,归纳起来共有以下几种观点:第一种观点认为研究区为古生代哈萨克斯坦板块、塔里木板块和华北板块交汇地带,以碱泉-明水-小黄山蛇绿混杂岩带为界,南侧为塔里木板块,北侧为哈萨克斯坦板块,阿尔金断裂是分割塔里木板块和华北板块的界线(左国朝等,1990,2003);第二种观点则认为以柳园-大奇山和骆驼山-红石山-黑鹰山这两条深大断裂为界,北山地区由南向北依次可划分出塔里木板块、哈萨克斯坦板块和西伯利亚板块(刘雪亚等,1995;聂凤军等,2002);第三种观点以红石山-百合山-蓬勃山蛇绿混杂岩带为界,将北山从南向北分为塔里木板块和哈萨克斯坦板块(龚全胜等,2002,2003;何世平等,2002,2005);第四种观点则以红柳河-白云山-小黄山碰撞带、康古尔塔格-碧玉山碰撞带和克拉麦里碰撞带为界,由南向北把北山地区依次划分为敦煌地块、星星峡-旱山岛弧带、准噶尔-吐哈岛弧带和

东准噶尔-南蒙古岛弧带(李锦轶等,2006)。近年来,有学者选择红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带作为板块缝合带,认为其北侧为星星峡-旱山微板块,归属哈萨克斯坦板块,南侧为敦煌微板块,归属塔里木板块(杨合群等,2006,2008,2009b,2010;徐学义等,2008,2009)。本文赞同最后一种观点。

盘陀山含钨花岗岩体位于内蒙古自治区额济纳旗西南约190km处盘陀山的北部,在大地构造位置上位于红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿混杂岩带南侧塔里木板块北缘的白玉山-方山口-鹰嘴红山早古生代被动陆缘带,产于盘陀山-古碛井近东西向挤压隆起带西段(图1)。该带基底主要为长城系古碛井群(ChG)、蓟县系平头山组(Jxp)及部分青白口系大豁落山组(Qbd),局部出露太古宇-古元古界的北山杂岩(Ar₂Pt₁B^o)。早古生代,该区发育一套浅海-半深海相碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩夹火山岩沉积建造。到泥盆纪,本区进入板块碰撞造山阶段,中酸性岩浆侵入活动极为发育,从西向东依次有盘陀山、半岛山、望旭山和鹰嘴红山4个花岗岩体。目前,除半岛山花岗岩体外,其余3个岩体均形成了工业规模的钨矿床,展示出本区花岗岩具有良好的钨矿成矿背景。

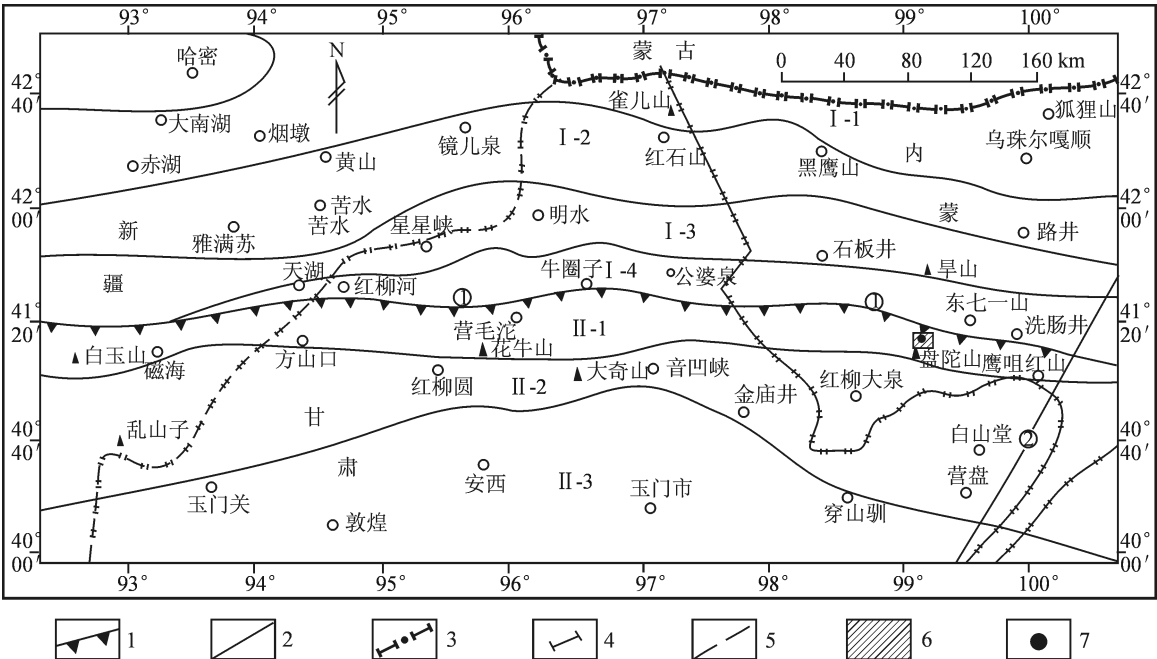


图1 盘陀山花岗岩体大地构造位置略图(据杨合群等,2009)

Fig. 1 Generalized map showing tectonic setting of the Pantuoshan granite body(after Yang et al. ,2009)

1-板块缝合线;2-构造分区界线;3-国界;4-省界;5-边界断裂及编号(① 红柳河-牛圈子-洗肠井断裂;② 黑河断裂);6-盘陀山含钨花岗岩体;7-国庆钨矿床

1-plate Suture line;2-boundary of structural unit;3-national boundaries;4-provincial boundaries;5-bordering fault and its derail number(① Hongliuhe-Niujuanzi-Xichangjing fault;② Heihe fault);6-location of Pantuoshan tungsten-bearing granite body;7- location of Guoqing tungsten deposit

盘陀山含钨花岗岩体外围出露地层主要为长城系古铜井群(ChG),岩性为一套浅海相的陆源碎屑岩夹灰岩透镜体的浅变质岩系,由下到上可分为两个岩性段。第一岩性段(ChG₁)主要由灰色、深灰色浅变质片理化泥质粉砂岩、粉砂质板岩及细粒石英砂岩组成。第二岩性段(ChG₂)主要由灰白色—浅灰色钙质石英砂岩、石英粒屑灰岩、灰色石英砂岩、青灰色石英岩和大理岩等组成,普遍含有铁质(图2)。

2 岩体成矿地质特征

2.1 岩体地质特征

盘陀山花岗岩体为一复式岩体,主要由南部的花岗闪长岩体和北部的中粒钾长花岗岩体两种岩石单元组成(图2)。从侵入时间上来看,花岗闪长岩体要早于钾长花岗岩体。成矿的钾长花岗岩主要以北西西向呈不规则状侵入长城系古铜井群第一岩性段(ChG₁)和盘陀山花岗闪长岩单元内,出露面积约50 km²。岩石包括中(粗)粒钾长花岗岩、细粒钾长花岗岩、中粗粒似斑状花岗岩、中粒二长花岗岩、中

粒花岗闪长岩和似斑状闪长岩等。

2.2 岩体岩石学特征

本次采集的岩石样品均为远离矿化蚀变的新鲜岩石。岩石标本呈浅肉红色,中细粒花岗结构,块状构造,可见碱性长石、石英、斜长石等矿物。显微镜下鉴定岩石的矿物成分主要为碱性长石中的微斜长石和条纹长石(45%~50%)、石英(25%~30%)及酸性斜长石中的更长石(20%)。微斜长石和条纹长石呈板状和板条状,可见格子双晶。更长石呈板条状,自形程度高,具聚片双晶,有较弱的碳酸盐化和绢云母化。石英多为半自形它形,常有裂纹和波状消光。

2.3 岩体成矿特征

目前,已在盘陀山钾长花岗岩体中控制了国庆钨矿区北部、中北部、中东部及南部4个钨矿体群(图2),圈出钨矿体50余条。钨矿体一般呈板状和扁豆体状,地表控制长度15 m~225 m,出露宽度0.5 m~11 m,倾斜延伸20 m~258 m,WO₃品位0.12%~0.68%,WO₃最高品位3.76%。

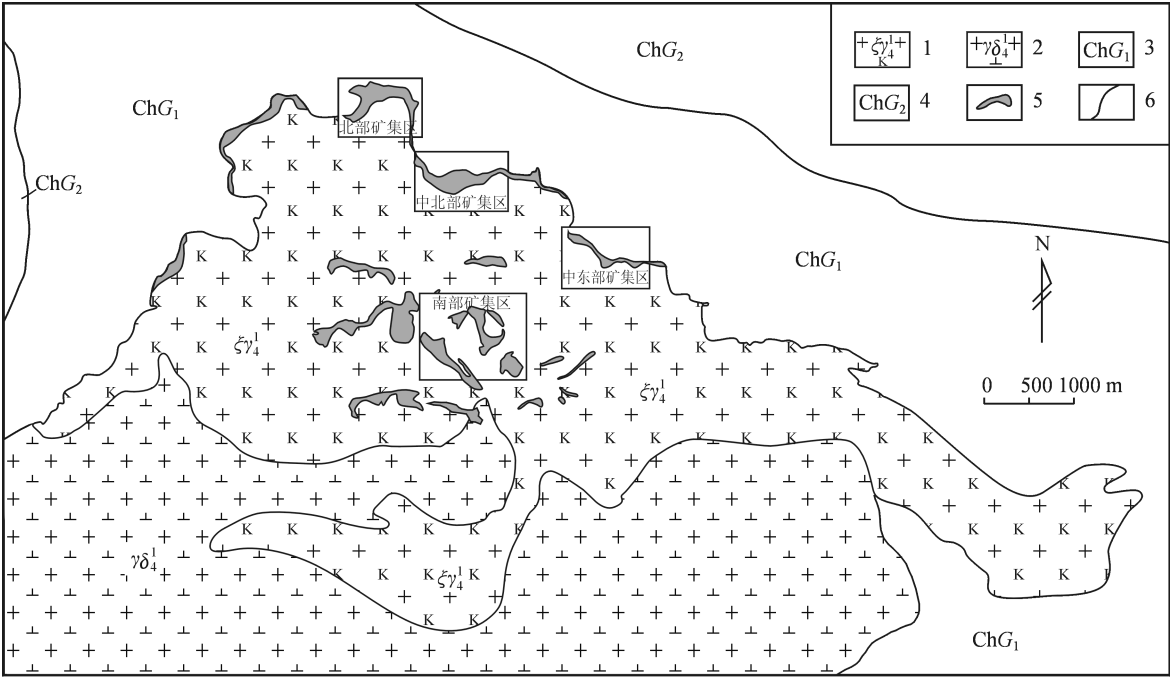


图2 盘陀山花岗岩体地质略图

Fig. 2 Geological sketch map of Pantuoshan granite bodies

1-盘陀山钾长花岗岩体;2-盘陀山花岗闪长岩体;3-长城系古铜井群第一岩性段;4-长城系古铜井群第二岩性段;
5-矿化蚀变带;6-地质界线
1-Pantuoshan K-feldspar granite body;2- Pantuoshan granodiorite body;3-the first section of Changcheng system Gudongjing group;4-the second section of Changcheng system Gudongjing group;5-mineralization alteration zone;6-geological boundary

成矿类型可分接触带型和石英细脉带型两类。前者主要产于钾长花岗岩体北部边缘内接触带中,由北部、中北部和中东部这 3 个钨矿体群构成,共圈出 30 多条矿体。含矿岩石有中(细)粒钾长花岗岩、花岗细晶岩(脉)和石英脉。钨矿体中一般可见到云英岩化和电气石化等蚀变,岩石普遍褪色,颜色变浅。而石英细脉带型钨矿主要产于钾长花岗岩体中部,是国庆钨矿最重要的钨矿类型。目前在地表已圈出 21 条钨矿体,另外在钻孔中还控制到多条厚大的隐伏矿体。所见钨矿体主要受岩体内的次级断裂和节理裂隙的控制。含矿石英脉呈乳白色,走向分北东、北西及近东西向三组。白钨矿在石英脉中呈细脉状或细脉浸染状分布,在石英细脉密集带钨矿化更好。另外,在各种脉岩交汇部位钨矿体厚度明显增大。

岩石蚀变类型主要有云英岩化、电气石化、硅化、绿帘石化、钾化、碳酸盐化、黄铁矿化等,其中云英岩化、电气石化和硅化与钨矿关系最为密切。钾长花岗岩体北缘内接触带与中部发育的 10 余条规模不等的电气石化-云英岩化蚀变带,均为钨矿体的主要赋存部位(图 2)。

3 岩石化学

3.1 主量元素

盘陀山钾长花岗岩体的岩石化学特征见表 1,其中 SiO_2 含量 72.55% ~ 74.78%, 平均 73.60%。岩石的 Rittman 指数为 1.86 ~ 2.28, 平均 2.06。 A/CNK 值平均为 1.12, 属过铝质。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中(图 3), 均落入高钾钙碱性系列成分区。

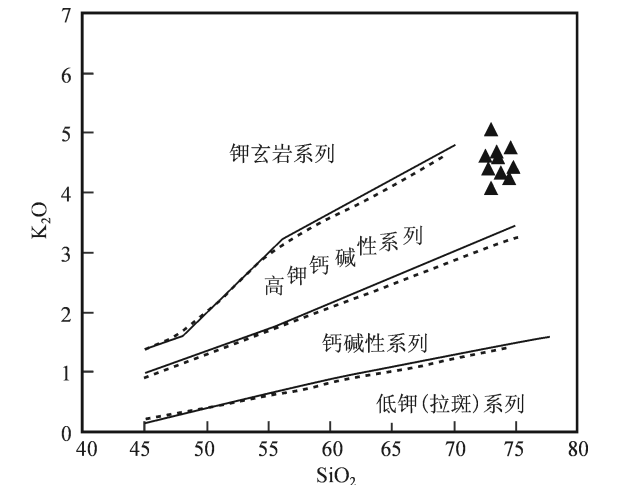


图 3 花岗岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 判别图解(据 Rickwood,1989)
Fig. 3 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ discrimination diagram of granites
(after Rickwood,1989)

3.2 微量元素

盘陀山含钨钾长花岗岩微量元素分析结果见表 1。其中,10 个花岗岩样品 Nb 含量为 9.01×10^{-6} ~ 17.8×10^{-6} , 平均 13.36×10^{-6} , 与地壳岩石中 Nb 含量 (8×10^{-6} ~ $(11.5 \pm 2.6) \times 10^{-6}$) (Barth *et al.*, 2000) 非常接近。花岗岩的微量元素值经大洋中脊花岗岩标准化后,多数显著富集 Rb、Th、Ce 和 Sm, 相对亏损 Ba、Nb、Zr、Hf、Y 和 Yb(图 4)。

岩石的 K/Rb 比值为 102.80 ~ 180.83, Sr/Ba 比值为 0.17 ~ 2.69, Th/U 比值为 1.30 ~ 8.89。Nb/Ta 比值较小,为 1.07 ~ 10.77, 平均 5.7, 表明为地壳物质。Rb/Sr 比值为 0.41 ~ 5.34, 明显高于地幔相应比值(0.24 ~ 0.89), 与地壳比值(5.36 ~ 6.55) 接近(Rudnick *et al.*, 1995), 说明岩浆来源于地壳。

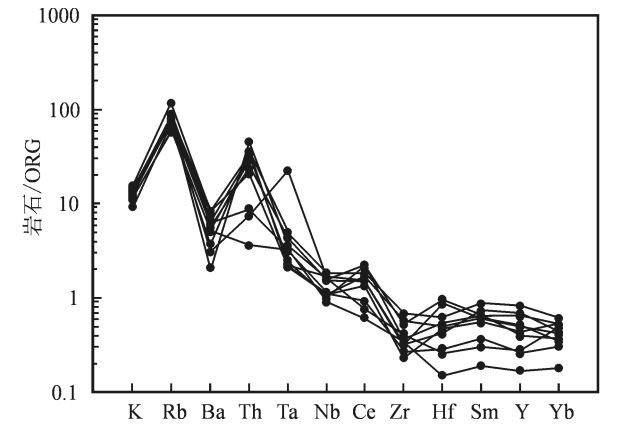


图 4 盘陀山钾长花岗岩微量元素标准化图解
(标准化值据 Pearce 等,1984)
Fig. 4 Normalized diagram of trace elements from the
Pantuoshan K-feldspar granites (standard value after
Pearce *et al.*,1984)

3.3 稀土元素

前人研究中国花岗岩时发现,典型的壳型花岗岩 La_N/Yb_N 平均小于 10, $\delta\text{Eu} < 0.5$ (王中岗等, 1989;赵振华等,1991)。本次分析花岗岩样品的 ΣREE 值为 49.66×10^{-6} ~ 167.55×10^{-6} , LREE/HREE 值为 6.63 ~ 15.07, La_N/Yb_N 变化于 1.90 ~ 7.63 之间, δEu 值为 0.09 ~ 0.63, 10 个样品中有 9 个 δEu 值 < 0.5 , 具有典型壳型花岗岩特征(表 1)。

从图 5 所示,盘陀山钾长花岗岩体的稀土元素球粒陨石标准化曲线以相对富集轻稀土元素(LREE)、贫重稀土元素(HREE)和具有明显 Eu 负异常为特征,斜率较大,呈右倾配分图式,具有明显的重熔型花岗岩特征。

表 1 盘陀山钾长花岗岩体主量元素、微量元素和稀土元素分析结果及特征比值

Table 1 Chemical analytical data of major ,trace and rare earth elements for the whole-rock samples from the Pantuoshan K-feldspar granites and their characteristic element ratios

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样品编号	07GS01	07GS02	07GS03	YH01	YH02	YH03	YH04	YH05	YH06	ZK7-1B44
岩石名称	中粒钾长花岗岩	细粒钾长花岗岩	花岗细晶岩	中粒钾长花岗岩	中粒钾长花岗岩	花岗细晶岩	似斑状钾长花岗岩	似斑状钾长花岗岩	中粒钾长花岗岩	中粒钾长花岗岩
主量元素(×10 ⁻²)										
SiO ₂	73.73	73.54	74.78	72.55	72.98	74.48	73.5	72.81	74.59	73.01
TiO ₂	0.16	0.15	0.066	0.18	0.14	0.045	0.13	0.3	0.1	0.15
Al ₂ O ₃	13.8	14.36	13.58	13.7	13.29	14.64	14.00	13.51	13.46	13.79
Fe ₂ O ₃	0.73	0.41	0.53	1.00	0.93	0.23	0.51	0.69	0.74	0.39
FeO	0.7	0.94	0.31	1.5	0.97	0.3	0.87	2.41	0.3	1.28
MgO	0.3	0.31	0.13	0.28	0.21	0.14	0.32	0.48	0.12	0.36
CaO	0.91	0.62	0.94	1	1.09	0.42	1.1	1.23	1.22	1.4
MnO	0.04	0.035	0.017	0.035	0.034	0.015	0.028	0.063	0.018	0.091
K ₂ O	4.34	4.58	4.42	4.61	5.05	4.24	4.68	4.4	4.76	4.08
Na ₂ O	3.45	3.57	3.41	3.41	3.21	3.94	3.3	3.05	3.31	3.57
P ₂ O ₅	0.047	0.11	0.12	0.06	0.045	0.12	0.043	0.11	0.034	0.056
LOI	1.35	1.1	1.26	1.38	1.5	0.96	0.96	0.82	0.93	1.36
H ₂ O ⁺	1.29	0.3	0.79	1.16	1.02	0.82	0.29	0.46	0.84	0.96
H ₂ O ⁻	0.05	0.06	0.08	0.12	0.15	0.08	0.09	0.1	0.01	0.02
CO ₂	0.07	0.25	0.52	0.2	0.13	0.1	0.1	0.07	0.07	0.47
总量	100.967	100.335	100.953	101.185	100.749	100.53	99.921	100.503	100.502	100.987
微量元素(×10 ⁻⁶)										
Rb	465.02	314.52	348.52	315.52	287.02	358.53	304.5	331	268.5	230.06
Sr	216.04	731.03	111.47	95.8	53.7	121.14	743	229	157	88.85
K	47803.5	39403.47	38403.51	51703.6	30303.9	43604	37604.3	39604.2	31604.9	41601.3
Ba	402.57	308.54	156.55	179.04	324.56	262.037	276	397.6	103.06	258
Th	27.15	7.01	6.04	36.1	23.1	2.94	26.75	16.6	27.45	19.2
U	4.43	1.8	3.94	4.06	3.7	1.33	3.15	5.02	4.17	14.8
Nb	17.8	11.3	16.5	16	9.7	9.01	10.6	16.7	10.8	15.2
Y	58.4	18.1	19.5	45.2	27.8	11.9	34.2	35.3	30.1	48.8
Ta	3.47	2.24	15.35	2.44	1.69	2.29	1.6	1.55	1.53	3.03
微量元素特征比值										
Rb/Sr	2.15	0.43	3.13	3.29	5.34	2.96	0.41	1.45	1.71	2.59
K/Rb	102.8	125.28	110.19	163.87	105.58	121.62	123.5	119.65	117.71	180.83
Sr/Ba	0.54	2.37	0.71	0.54	0.17	0.46	2.69	0.58	1.52	0.34
Nb/Ta	5.13	5.04	1.07	6.56	5.74	3.93	6.63	10.77	7.06	5.02
Th/U	6.13	3.89	1.53	8.89	6.24	2.21	8.49	3.31	6.58	1.3
稀土元素(×10 ⁻⁶)										
La	27.1	14.98	11.27	36.65	33.45	8.73	26.9	24.68	23.07	23.78
Ce	64.45	32.81	26.51	77.2	77.6	21.41	61.7	53.2	47.4	52.5
Nd	34.95	16.98	15.85	34.1	33.61	12.81	34.07	29.12	23.61	28.8
Sm	7.89	3.33	2.73	5.84	5.94	1.7	5.47	5.57	5.08	6.72
Eu	0.19	0.6	0.38	0.69	0.72	0.36	0.74	0.47	0.42	0.81
Gd	4.79	3.96	1.83	4.84	4.31	1.77	3.89	3.47	3.14	4.87
Tb	1.62	0.68	0.55	1.05	0.76	0.37	0.89	0.94	0.86	1.29
Ho	2.17	0.92	0.97	1.50	1.10	0.66	1.45	1.31	1.51	1.70
Tm	0.81	0.40	0.57	0.68	0.47	0.25	0.59	0.49	0.68	0.62
Yb	4.94	2.51	4.00	4.33	2.96	1.42	3.43	2.85	4.27	3.51
Lu	0.79	0.38	0.64	0.68	0.44	0.18	0.47	0.41	0.68	0.52
ΣREE	149.71	77.55	65.3	167.55	161.36	49.66	139.6	122.5	110.71	125.12
LREE	134.59	68.69	56.74	154.48	151.32	45.01	128.88	113.03	99.58	112.61
HREE	15.12	8.86	8.56	13.07	10.04	4.66	10.72	9.47	11.14	12.51
LREE/HREE	8.90	7.75	6.63	11.82	15.07	9.66	12.03	11.94	8.94	9.00
La _N /Yb _N	3.71	4.03	1.90	5.72	7.63	4.15	5.30	5.85	3.65	4.58
δEu	0.09	0.50	0.49	0.38	0.42	0.63	0.47	0.30	0.30	0.42
δCe	1.03	0.99	1.00	1.00	1.06	1.02	1.00	0.97	0.96	0.98

注:主量元素检测单位:西安地质矿产研究所测试中心;检测方法:XRF。稀土和微量元素检测单位:中国科学院高能物理研究所核分析技术重点实验室;检测方法:中子活化法。Y 和 Nb 检测单位:国家地质实验测试中心;检测方法:原子荧光。

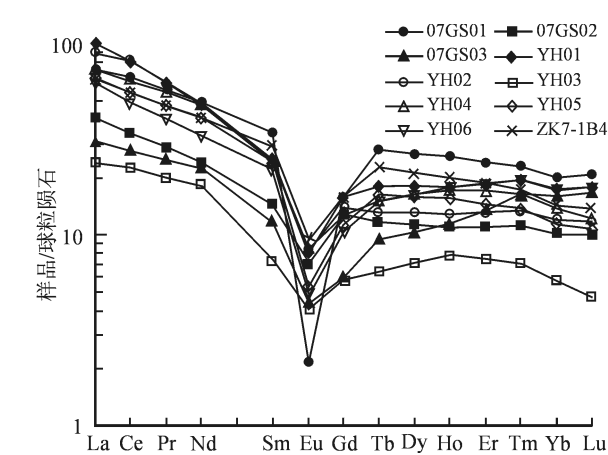


图5 盘陀山钾长花岗岩稀土元素配分模式图
(标准化值据 Talor and McLennan,1985)

Fig.5 REE distribution patterns of the Pantuoshan K-feldspar granites (standard value after Talor and McLennan,1985)

4 岩体成因机制讨论

4.1 含钨花岗岩浆形成环境

北山地区经历了蓟县系和青白口系巨厚的碳酸盐岩沉积之后,发生了晋宁运动,使前震旦系完全固结形成统一古大陆(左国朝等,1996)。震旦纪红柳河北、破城山及洗肠井南出现中基性火山活动,为大陆裂解的先兆。寒武纪初期,北山地区古大陆大致沿红柳河-牛圈子-洗肠井一带发生裂解,裂谷带南北两侧沉积了一套浅海-次深海环境的陆源碎屑岩、碳酸盐岩及少量硅质岩组合。早奥陶世古大陆裂解加剧,在月牙山-洗肠井一带出现双模式火山喷发,表明这一时期古大陆沿红柳河-牛圈子-洗肠井一带裂解已发育成具有一定规模的大陆裂谷带,是裂谷演化的主要时期。中奥陶世初期古大陆经过强烈的南北向扩张,在裂谷基础上形成红柳河-牛圈子-洗肠井洋盆,出现两个板块(哈萨克斯坦板块和塔里木板块)夹一洋的构造格局(何世平等,2005)。晚奥陶世尽管出现了小规模自南向北的俯冲作用,但主要是初始大洋扩张。目前保留下来的红柳河-牛圈子-月牙山-洗肠井蛇绿岩主要形成时代应为奥陶纪(左国朝等,1996)。志留纪期间,红柳河-牛圈子-洗肠井洋盆发生了大规模自南向北的俯冲作用,在哈萨克斯坦板块南缘形成了公婆泉-东七一山早古生代活动陆缘带,在塔里木板块北缘形成了白玉山-方山口-鹰嘴红山早古生代被动陆缘带(何世平等,2002,2005;杨合群等,2008,2010)。早古生代末,北山地区结束了板块构造格

局,红柳河-牛圈子-洗肠井洋闭合,哈萨克斯坦板块和塔里木板块发生拼贴(何世平,2005)。泥盆纪初,两侧陆块沿红柳河-牛圈子-洗肠井板块缝合带对接碰撞造山,导致北山中部(明水、红柳河、公婆泉、火石山、石板井等地区)整体处于抬升剥蚀区,泥盆系地层普遍缺失。泥盆纪碰撞造山的同时,不断隆升的山系前陆出现局部扩张下陷,北山南、北部分别沿干泉-柳园-墩墩山-碱泉子和雀儿山-大红山-百合山-芦草井一带接受沉积,以下泥盆统均具有磨拉石建造为特点(左国朝等,1995,2003),这也是北山地区泥盆纪碰撞造山的强有力证据。泥盆纪碰撞造山过程中,缝合带及其两侧很大范围内,由于动力转化为热量,缝合带部位受长期的热体制控制,褶皱、变质伴随大规模花岗岩类入侵(左国朝等,1995)。在红柳河-牛圈子-洗肠井板块缝合带南侧,被动边缘基底的古老地壳物质重熔形成盘陀山、望旭山、鹰嘴红山等一系列花岗岩体(杨合群等,2009b,2010)。碰撞造山洋陆转换后,泥盆纪中晚期开始略有拉张的迹象,挤压环境逐渐向伸展环境转换,在缝合带北侧形成火石山哈尔根头口布等花岗岩体(王立社等,2009)。石炭纪-二叠纪,北山地区进一步伸展拉张形成南北两条陆内裂谷带的构造格局:北带有雅满苏-红石山-黑鹰山晚古生代陆内裂谷带;南带有磁海-红柳园-白山堂晚古生代陆内裂谷带(图1)。总而言之,北山地区在古生代经历多个构造演化阶段:震旦纪-寒武纪为古陆裂解阶段;奥陶纪为洋盆扩张阶段;奥陶纪末-志留纪为板块俯冲阶段;泥盆纪为碰撞造山阶段;石炭纪-二叠纪为陆内裂谷阶段。

前人在盘陀山钾长花岗岩体中远离矿化蚀变处采集了二长花岗岩样品(编号03PT134)送天津地质矿产研究所用固体质谱稀释法进行了锆石 U-Pb 同位素测年,获得4个锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值为 383.3±1.8Ma(杨合群等,2010),表明该岩体形成于泥盆纪。本次,在花岗岩 Y-Nb 构造环境判别图解(图6,a)和 Y+Nb-Rb 构造环境判别图解(图6,b)中,矿区10个花岗岩样品大部分都落入同碰撞花岗岩区域(Syn-COLG),少量落入板内花岗岩区域(WPG),显示其形成环境为碰撞挤压环境。综上所述,盘陀山含钨花岗岩体的形成与泥盆纪碰撞造山事件密切相关。

4.2 成岩物质来源

盘陀山含钨花岗岩体的微量元素和稀土元素特

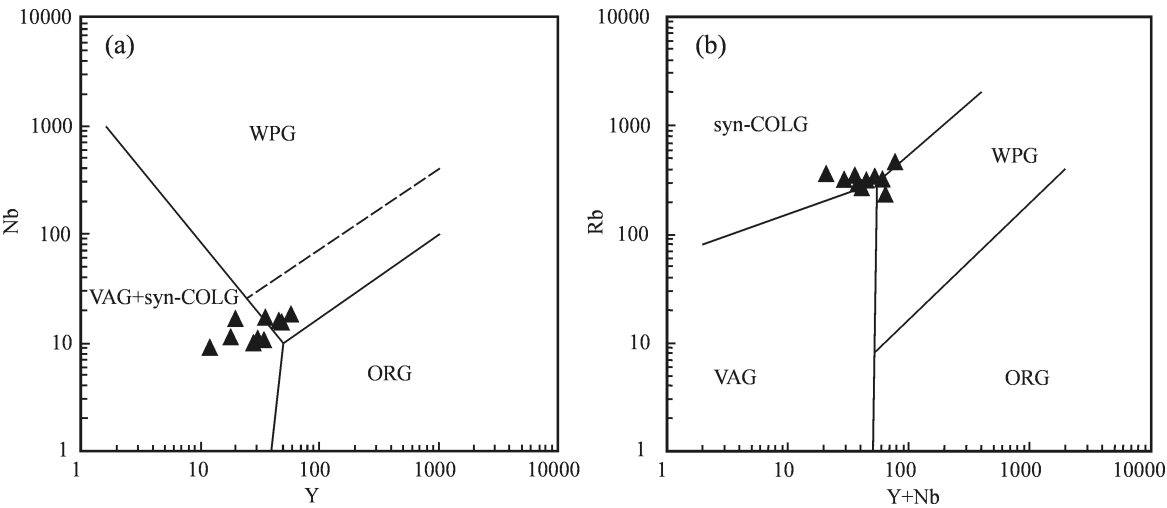


图 6 微量元素 Y-Nb 和 Y+Nb-Rb 构造环境判别图解

Fig. 6 Y-Nb and Y+Nb-Rb discrimination diagrams showing tectonic setting

ORG—大洋中脊花岗岩;WPG—板内花岗岩;VAG. —火山弧花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩

ORG-ocean ridge granites;WPG-internal plate granite;VAG-volcanic arc granite;Syn-COLG-syn-collision granite

征均表明,岩浆来源于地壳,具有重熔型特征。另外,前人对盘陀山含钨花岗岩进行过全岩锶-钨同位素比值测定结果计算的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值为 0.729091, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 -5.89 (杨合群等,2010)。根据微量元素、稀土元素和 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值明显大于 0.708 以及 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值远小于 0 等特征,推断成矿岩体来源于前寒武古陆壳物质重熔。

4.3 岩体成矿作用

盘陀山含钨花岗岩体的成矿作用主要经历了两个阶段。第一阶段是泥盆纪岩浆侵入过程中,挥发份携带 W 等成矿元素向顶部及外围运移。在与围岩接触部位,岩浆遇冷温度降低,其中的副矿物、暗色矿物、斜长石、碱性长石和石英等矿物以及 W 等成矿元素开始从岩浆中结晶出来。随着岩浆进一步演化,W 元素在此处不断聚集,形成了国庆钨矿区北部、中北部和中东部这 3 个产于成矿岩体内接触带的钨矿体群。

第二阶段是国庆钨矿床形成的主要阶段。在岩浆演化过程中,随着时间推移,从边部向中心,岩浆逐渐冷凝结晶,较多 W 等成矿元素残留在岩浆内部并随着岩浆演化不断富集。由于冷却收缩和区域构造作用,岩体中产生了 NE 向、EW 向和 NW 向裂隙,成矿热液沿裂隙上升,形成了产于岩体内部的石英细脉带型钨矿。

5 结论

(1) 盘陀山含钨花岗岩体属过铝质高钾钙碱性

花岗岩,岩石的稀土、微量和锶钨同位素特征表明,岩浆来源于地壳,具有明显的重熔型花岗岩特征,是前寒武纪古陆壳部分重熔产物。

(2) 盘陀山含钨花岗岩体中锆石 U-Pb 年龄为 $383 \pm 1.8\text{Ma}$,表明该岩体形成于北山地区泥盆纪板块碰撞造山阶段。

(3) 岩体北部边缘内接触带和岩体中心是重要成矿部位,钨矿成矿类型主要为蚀变花岗岩型和石英脉型。

(4) 盘陀山含钨花岗岩体的成矿作用主要有两个阶段:第一阶段发生在岩浆侵入过程中,形成了岩体顶部边接触带型钨矿体群;第二阶段为主要成矿阶段,在岩体中部形成了石英细脉带型钨矿体群。

致谢 本文写作过程中得到了西安地质矿产研究所杨合群研究员和李行研究员的悉心指导,在此深表感谢!

[References]

Barth M G, McDonough W F, Rndnick R I. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust[J]. Chemical Geology, 165(3-4): 197-213

Gong Quan-sheng, Liu Ming-qiang, Li Hai-lin, Liang Ming-hong, Dai Wen-jun. 2002. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. Northwestern geology, 35(3): 28-34 (in Chinese with English abstract)

Gong Quan-sheng, Liu Ming-qiang, Liang Ming-hong, Li Hai-lin. 2003. The tectonic facies and tectonic evolution of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. Northwestern geology, 36(1): 11-18 (in Chinese with English abstract)

He Shi-ping, Ren Bing-shen, Fu Li-pu. 2002. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu-Inner Mongolia[J]. Northwestern Geology, 38(3):6-15 (in Chinese with English abstract)

He Shi-ping, Zhou Hui-wu, Ren Bing-shen. 2005. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China[J]. North-western Geology, 38(3):6-15 (in Chinese with English abstract)

Jiang Si-hong, Nie Feng-jun. 2006a. Nd-isotope constraints on origin of granitoids in Beishan mountain area[J]. Acta Geologica Sinica, 80(6):826-842 (in Chinese with English abstract)

Jiang Si-hong, Nie Feng-jun. 2006b. ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan mountain, Gansu province, China[J]. Mineral deposits, 25(1):89-94 (in Chinese with English abstract)

Liu Xue-ya, Wang Quan. 1995. Tectonics of orogenic belts in Beishan mountain, western China and thier evolution[J]. Dixue yanjiu, 28:37-48 (in Chinese with English abstract)

Li Wen-ming, Zhao Guo-bin, Quan Shou-cun, Lei Yong-xiao, Yang He-qun, Yang Jian-guo. 2008. Guoqing tungsten deposit was found in Beishan mountain, Inner Mongolia, China[J]. Mineral deposits, 27(1):122-122 (in Chinese)

Li Jin-yi, Wang Ke-zhuo, Li Ya-ping, Sun Gui-hua, Chu Chun-hua, Li Li-qun, Zhu Zhi-xin. 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan mountains[J]. Geological Bulletin of China, 25(8):895-909 (in Chinese with English abstract)

Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Bai Da-ming, Wang Xin-liang, Su Xin-xu, Li Jing-chun, Liu Yan, Zhao Xing-min. 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan Mt.), northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House:55-102 (in Chinese)

Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Bai Da-ming, Zhang Yi, Zhao Yue-ming, Wang Xin-liang. 2003. Type and temporal-spatial distribution of metal deposits in the Beishan Mountains, Inner Mongolia, and its neighboring region[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3):367-378 (in Chinese with English abstract)

Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Hu Peng, Zhang Yi. 2004. Geological features and ore-forming material sources of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan moutain, Gansu province[J]. Mineral deposits, 23(1):11-19 (in Chinese with English abstract)

Rudnick R L, Fountain D M. 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective[J]. Rev. Geophy., 33:267-309

Wang Zhong-gang, Yu Xue-yuan, Zhao Zhen-hua. 1989. Rare earth elements geochemistry[M]. Beijing: Science Press:223-224 (in Chinese)

Wang Li-she, Yang Jian-guo, Xie Chun-lin, Lei Yong-xiao, Wang Yu-xin, Cao Hong-xia, Yang Peng-fei, Qi Ya-lin, Jin Shuan-lian. 2009. Geochronology and geochemistry of Haergentoukoubu granites in the Beishan area, Gansu, China and their geological significance[J]. Acta geologica sinica, 83(3):377-387 (in Chinese with English abstract)

Xu Xue-yi, He Shi-ping, Wang Hong-liang, Chen Jun-lu, Zhang Er-peng, Feng Yi-min. 2008. General situation of geology in North-western, China[M]. Beijing: Science Publishing House:10-60 (in Chinese with English abstract)

Xu Xue-yi, He Shi-ping, Wang Hong-liang, Chen Jun-lu. 2009. Illustrative book of map of geological setting in east Tianshan and Beishan (1:1 000 000), China[M]. Beijing: Geological Publishing House:1-8 (in Chinese)

Yang He-qun, Li Ying, Yang Jian-guo, Li Wen-ming, Yang Lin-hai, Zhao Guo-bin, Ye De-jin, Zhao Yan-qing, Zhao Jian-guo, Shen Cun-li, Wang Xin-liang, Su Xin-xu. 2006. Main metallogenic characteristics in the Beishan orogen[J]. Northwestern Geology, 39(2):78-95 (in Chinese with English abstract)

Yang He-qun, Li Ying, Li Wen-ming, Yang Jian-guo, Zhao Guo-bin, Sun Nan-yi, Wang Xiao-hong, Tan Wen-juan. 2008. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishan Mountain, North-western China[J]. Northwestern Geology, 41(1):22-28 (in Chinese with English abstract)

Yang He-qun, Li Ying, Li Wen-ming, Yang Jian-guo, Zhao Guo-bin, Wang Xiao-hong. 2009a. Spatial variation regularity and ore potential of S-type and I-type granites in the Beishan Mountain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(5):627-633 (in Chinese with English abstract)

Yang He-qun, Li Ying, Zhao Guo-bin, Wang Yong-he, Yang Jian-guo, Li Wen-ming, Jiang Han-bing, Tan Wen-juan, Zhang Kai-chun. 2009b. Stratigraphic correlation and its significance of Xinjiang-Gansu-Inner Mongolia Join area[J]. Northwestern Geology, 42(4):60-75 (in Chinese with English abstract)

Yang He-qun, Zhao Guo-bin, Li Wen-ming, Yang Jian-guo, Li Ying, Wang Xiao-hong, Jiang Han-bing, Tan Wen-juan. 2010. Formation age and source tracing of the tungsten-bearing granite belt in the Pantuoshan-Yingzuihongshan Area, Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 46(3):407-413 (in Chinese with English abstract)

Zhang Xin-hu, Su Li, Cui Xue-jun, Ding Shu-hong, Zhao Jian-guo, Chen Li. 2008. The diagenetic-metallogenic geochronology and ore-forming mechanism of the Yushan tungsten deposit in the Beishan orogenic belt, Gansu, China[J]. Chinese science bulletin, 53(9):1077-1084 (in Chinese)

Zhao Zhen-hua, Wang Zhong-gang, Chu Tian-ren. 1991. The REE, isotopic composition of O, Pb, Sr, Nd and diagenetic modle of granitoids in Altai region[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 3(24):176-178 (in Chinese with English abstract)

Zuo Guo-chao, Zhang Shu-ling, He Guo-qi, Zhang Yang. 1990. Early Paleozoic plate tectonics in Beishan area[J]. Scientia geologica sinica, 4:305-315 (in Chinese with English abstract)

Zuo Guo-chao, Liu Chun-yan, Bai Wan-cheng, Feng Yong-zhong. 1995. Volcana-molasse geological structure and geochemical signature in Devonian period collision orogenic in Beishan, Gansu-Imongoulia[J]. Acta geologica Gansu, 4(1):35-43 (in Chinese with English abstract)

Zuo Guo-chao, Li Mao-song. 1996. Lithosphere Formation and Evolution during Early Paleozoic in Beishan, Gansu and Inner Mongolia[M]. Lanzhou: Gansu Scientific and Technical Publishing House:1-80 (in Chinese)

Zuo Guo-chao, Liu Yi-ke, Liu Chun-yan. 2003. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu province, Xinjiang autonomous region and Inner Mongoulia autonomous region[J]. Acta geologica Gansu, 12(1):1-15 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 龚全胜,刘明强,李海林,梁明宏,代文军. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. 西北地质,35(3):28-34
- 龚全胜,刘明强,梁明宏,李海林. 2003. 北山造山带大地构造相及构造演化[J]. 西北地质,36(1):11-18
- 何世平,任秉琛,姚文光,付力浦. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. 西北地质,35(4):30-40
- 何世平,周会武,任秉琛. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质,38(3):6-15
- 江思宏,聂凤军. 2006a. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约[J]. 地质学报,80(6):826-842
- 江思宏,聂凤军. 2006b. 甘肃北山红尖兵山钨矿床的⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年代学研究[J]. 矿床地质,25(1):89-94
- 刘雪亚,王 荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. 地学研究,第 28 号:37-48
- 李文明,赵国斌,全守村,雷永孝,杨合群,杨建国. 2008. 内蒙北山发现国钦钨矿床[J]. 矿床地质,27(1):122-122
- 李锦轶,王克卓,李亚萍,孙桂华,褚春华,李丽群,朱志新. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报,25(8):895-909
- 聂凤军,江思宏,白大明,王新亮,苏新旭,李景春,刘妍,赵省民. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京:地质出版社:55-102
- 聂凤军,江思宏,白大明,张 义,赵月明,王新亮. 2003. 内蒙古北山及邻区金属矿床类型及其时空分布[J]. 地质学报,77(3):367-378
- 聂凤军,江思宏,胡 朋,张 义. 2004. 甘肃北山红尖兵山钨矿床矿床地质特征及成矿物质来源[J]. 矿床地质,23(1):11-19
- 王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社:223-224
- 王立社,杨建国,谢春林,雷永孝,王育习,曹红霞,杨鹏飞,齐亚林,金栓联. 2009. 甘肃北山火山石哈尔根头口布花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报,83(3):377-387

- 徐学义,何世平,王洪亮,陈隽璐,张二朋,冯益民. 2008. 中国西北部地质概论[M]. 北京:科学出版社:10-60
- 徐学义,何世平,王洪亮,陈隽璐. 2009. 东天山-北山地区成矿地质背景图(1/100 万)[M]. 北京:地质出版社:1-8
- 杨合群,李 英,杨建国,李文明,杨林海,赵国斌,叶得金,赵彦青,赵建国,沈存利,王新亮,苏新旭. 2006. 北山造山带的基本成矿特征[J]. 西北地质,39(2):78-95
- 杨合群,李 英,李文明,杨建国,赵国斌,孙南一,王小红,谭文娟. 2008. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质,41(1):22-28
- 杨合群,李 英,李文明,杨建国,赵国斌,王小红. 2009a. 北山花岗岩 S 型/I 型空间变化规律及含矿性[J]. 地球学报,30(5):627-633
- 杨合群,李 英,赵国斌,王永和,杨建国,李文明,姜寒冰,谭文娟,张开春. 2009b. 新疆-甘肃-内蒙古衔接地区地层对比及其意义[J]. 西北地质,42(4):60-75
- 杨合群,赵国斌,李文明,杨建国,李 英,王小红,姜寒冰,谭文娟. 2010. 内蒙古盘陀山-鹰嘴红山含钨花岗岩带形成时代及源区示踪[J]. 地质与勘探,46(3):407-413
- 张新虎,苏 犁,崔学军,丁书鸿,赵建国,陈 莉. 2008. 甘肃北山造山带玉山钨矿成矿时代及成矿机制[J]. 科学通报,53(9):1077-1084
- 赵振华,王中刚,雒天人. 1991. 阿尔泰花岗岩类型与成岩模型的 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成依据[J]. 矿物岩石地球化学通报,3(24):176-178
- 左国朝,张淑玲,何国琦,张 杨. 1990. 北山地区早古生代板块构造特征[J]. 地质科学,4:305-315
- 左国朝,刘春燕,白万成,冯永忠. 1995. 北山泥盆纪碰撞 9 造火山-磨拉石地质构造及地球化学特征[J]. 甘肃地质学报,4(1):35-43
- 左国朝,李茂松. 1996. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成和演化[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社:1-80
- 左国朝,刘义科,刘春燕. 2003. 甘蒙北山地区构造格局及演化[J]. 甘肃地质学报,12(1):1-15

Geological and Geochemical Characteristics of the Pantuoshan Tungsten-Bearing Granite Mass in Inner Mongolia and Its Genesis

ZHAO Guo-bin¹, LI Wen-ming¹, YANG He-qun¹, TIAN Yong-tang¹, GAO Yong-wei¹,

DU Tao¹, QUAN Shou-cun¹, QIAO Geng-biao¹, LEI Yong-xiao¹, YANG Tao¹, Feng Bin²

(1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054;*

2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083*)

Abstract: Located in the western Pantuoshan-Gudongjing compressional uplift zone, the Beishan Mountains in Inner Mongolia, the Pantuoshan granite body is a complex intrusion comprised of granodiorite and K-feldspar granite. The recently discovered Guoqing tungsten deposit is associated with the late intrusive K-feldspar granite. Previous studies suggest that the zircon U-Pb age is 383.3 ± 1.8 Ma, and it was formed in the Devonian. The Rittman index of the granite related to the mineralization is 1.86 ~ 2.28, and the average A / CNK is 1.12, indicating it belongs to high-K peraluminous and calc-alkaline series granite. These rocks have La_N/Yb_N , Nb/Ta, δEu and Rb/Sr as 1.90 ~ 7.63, 0.09 ~ 0.63, 1.07 ~ 10.77 and 0.41 ~ 5.34, respectively, interpreted to reflect its derivation from crust re-melting. We consider that this area belonged to the Baiyushan-Fangshankou-Yingzuihongshan passive continental margin zone in the early Paleozoic. In the Devonian, this region was in the plate collision orogenic stage, and power was converted into heat, which resulted in the partially re-melted pre-Cambrian ancient continental crust, and the later tungsten-bearing granitic magma. The mineralization of Pantuoshan granite bodies can be divided into two periods. In the first period, the volatile component which carried some ore-forming elements moved to the top edge of magma and accumulated in its inner contact zones, then the contact zone-type tungsten ore bodies were formed. In the second period, with the rock mass crystallizing from the magma edge to inside, the volatile and ore-forming elements in the residual magma became enriched gradually, and then formed quartz fine-disseminated type tungsten ore bodies in the middle of the metallogenic granite body.

Key words: Pantuoshan granite, metallogenic features, geological and geochemical characteristics, genetic mechanism, Beishan Mountains, Inner Mongolia