

内蒙古黄岗梁铁锡矿床成岩、成矿时代与构造背景

翟德高¹, 刘家军¹, 杨永强¹, 王建平¹, 定立¹, 刘星旺¹, 张梅^{1,2},
要梅娟¹, 苏犁³, 张红雨³

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 内蒙古自治区地质调查院,
内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 中国地质大学 科学研究院, 北京 100083)

摘要: 内蒙古黄岗梁铁锡矿床位于大兴安岭成矿带中南段, 是一个典型的夕卡岩型多金属矿床。为了精确厘定该矿床的成岩、成矿时代, 对与成矿关系密切的花岗岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究, 结合矿石中辉钨矿的 Re-Os 等时线年龄, 对该矿床形成的地球动力学背景进行了深入的探讨。花岗岩锆石 LA-ICP-MS 年代学研究表明花岗岩的结晶年龄为 139.96 ± 0.87 Ma, 是早白垩世岩浆活动的产物。矿床辉钨矿 Re-Os 等时线年龄为 134.9 ± 5.2 Ma, 成岩和成矿时代在误差范围内基本一致, 均处于燕山期大规模中酸性岩浆活动期内。综合矿床地质特征、成岩成矿时代和区域构造演化, 认为黄岗梁铁锡矿床形成于大兴安岭成矿带 140 Ma 左右的锡多金属成矿高峰期, 矿床形成于由全面的挤压向伸展过渡阶段的构造背景。

关键词: 夕卡岩型矿床; LA-ICP-MS; Re-Os 等时线; 燕山期; 黄岗梁; 内蒙古

中图分类号: P597+.3; P588.12+1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)04-0513-11

Petrogenetic and metallogenic ages and tectonic setting of the Huanggangliang Fe-Sn deposit, Inner Mongolia

ZHAI De-gao¹, LIU Jia-jun¹, YANG Yong-qiang¹, WANG Jian-ping¹, DING Li¹, LIU Xing-wang¹,
ZHANG Mei², YAO Mei-juan¹, SU Li³ and ZHANG Hong-yu³

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020, China; 3. Institute of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Located in middle-southern section of the Da Hinggan Ling metallogenic belt, the Huanggangliang Fe-Sn deposit is a typical skarn deposit. In order to determine the petrogenetic and metallogenic ages of the deposit, the authors emphatically studied zircon LA-ICP-MS and molybdenite Re-Os chronology of the granite. Combined with the precise chronological data, this paper discusses in detail the geodynamic setting of the deposit. Zircon LA-ICP-MS analysis of the granite shows that the crystallization age of the granite is 139.96 ± 0.87 Ma, indicating that the granite related to mineralization resulted from magmatism in early Cretaceous period. The molybdenite Re-Os dating gives an isochron age of 134.9 ± 5.2 Ma, which indicates that the metallogenic and petrogenetic ages are consistent with each other. Isotopic chronology demonstrates that both the

收稿日期: 2012-02-25; 修订日期: 2012-05-17

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项计划项目(1212011085471); 国家自然科学基金资助项目(40973035); 高等学校科技创新引智计划资助项目(B07011)

作者简介: 翟德高(1985-), 男, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床学和矿床地球化学方面的研究, E-mail: zhaidegao198537@yahoo.com.cn; 通讯作者: 刘家军(1963-), 男, 教授, 主要从事矿床学和矿床地球化学方面的研究, E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn.

Huanggangliang Fe-Sn deposit and the associated granite are products of magmatic activities in the Yanshanian period. Combined with ore deposit geology and mineralization epoch as well as regional tectonic evolution, the authors have reached the conclusion that the formation of the Huanggangliang Fe-Sn deposit in the Da Hinggan Ling region occurred at the peak metallogenic stage of 140 Ma. The tectonic setting of the deposit was in the transition period from lithosphere compression to extension.

Key words: skarn type deposit; LA-ICP-MS; Re-Os isochron age; Yanshanian period; Huanggangliang; Inner Mongolia

大兴安岭地区是我国北方重要的银、铅、锌、钼、锡、铁、铜等多金属矿集区,已发现有黄岗梁 Fe-Sn 矿床、大井 Cu-Ag-Sn-Pb-Zn 矿床、白音诺尔 Pb-Zn 矿床、拜仁达坝 Pb-Zn-Ag 矿床等大型-超大型矿床(赵一鸣等,1997;王莉娟等,2001;刘建明等,2004;郭利军等,2009;刘家军等,2010;周振华等,2011a)。关于该区成矿系列、区域成矿特征、成岩、成矿动力学背景等已有众多学者进行了探讨(吕志成等,2000;王京彬等,2000;Mao *et al.*, 2003;刘建明等,2004;薛怀民等,2010;张梅等,2011),但对该区典型矿床的研究还需要足够精确的年代学厘定。本次研究的黄岗梁铁锡矿床位于大兴安岭多金属成矿带的中南段,是迄今我国北方唯一一处铁、锡共生的大型夕卡岩型矿床。前人对该矿床的地质特征、夕卡岩矿物学特征(周振华等,2011a)、稀土元素地球化学(王莉娟等,2002)、控矿构造(任耀武,1995)、成矿流体性质和演化及矿床成因有较多的探讨(王莉娟等,2001;王长明等,2007;周振华等,2011b),但对成岩、成矿时代的精确厘定还有待深入研究,如关于矿床的成岩时代多使用 Rb-Sr、K-Ar 或 Ar-Ar 法来间接获得成岩年龄(赵一鸣等,1997),而成矿年龄则仅通过辉钼矿的模式年龄来确定(周振华等,2010),并未给出精确的等时线年龄。本次研究重点对与黄岗梁铁矿成矿关系紧密的花岗岩进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究,结合矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素等时线年龄,对成岩、成矿时代和成矿动力学背景及区域成矿作用进行深入探讨。

1 区域地质背景

本区大地构造位置归属于大兴安岭南段晚古生代增生造山带,其南北边界分别为西拉木伦河断裂和二连-贺根山断裂,东以嫩江断裂为界(周振华等,

2010)。区域断裂构造较为发育,与各期褶皱构造紧密共生,对控岩、控矿均具有十分重要的意义。北东向断裂遍布全区,规模较大者长达百余公里,占有显著地位。北西向断裂与北东向断裂纵横交错,构成格子状^①。区域地层以二叠系基底和侏罗系盖层为主。上二叠统及下二叠统在本区发育,是组成贯穿全区的北东向黄岗梁复式背斜的主体。大石寨组是本区二叠系分布面积最大的地层单位,对称出露于复式背斜两翼近轴部地带。该区侵入岩时代主要为燕山期,以花岗岩类为主,主要集中在区域重力负异常和重力梯度带范围内。此外,本区还发育各类脉岩,包括辉绿岩、闪长玢岩及伟晶岩等。

2 矿床地质特征

矿区出露的地层主要有下二叠统青凤山组板岩,大石寨组细碧-角斑岩、安山岩、凝灰岩等及黄岗梁组大理岩、砂页岩,大理岩为含矿夕卡岩的主要围岩。矿床主要产于黄岗复式背斜北西翼,属于单斜构造,主要构造线方向为北东向和近东西向,空间展布则受到黄岗梁-乌兰浩特深断裂带的控制。矿区侵入岩主要为燕山期花岗岩类,其次为少量华力西期中基性岩类。矿区分布有大小矿体 185 个,可划分为 I~VII 矿区,其中 II、III 区为正在开采的较大规模矿区。矿体主要分布于花岗岩和大理岩及安山岩和火山碎屑岩所形成的大规模夕卡岩带内,矿体形态多呈不规则的层状、似层状或透镜状,沿北东向和近东西向断续延伸(图 1)。靠近岩体接触面,矿体一般具有厚度大、连续性好且品位高的特征,远离岩体界面的矿体则规模小而分布杂乱,且品位较低。分布于矿区东部的 III 区矿体,埋藏较深,可分为上部小矿体和深部的主矿体两部分。上部矿体主要为一组陡立、斜列式、扁豆状或豆荚状的小矿体,而深部矿

① 内蒙古自治区地质十六队,1983. 黄岗梁锡铁矿床详细普查地质报告.

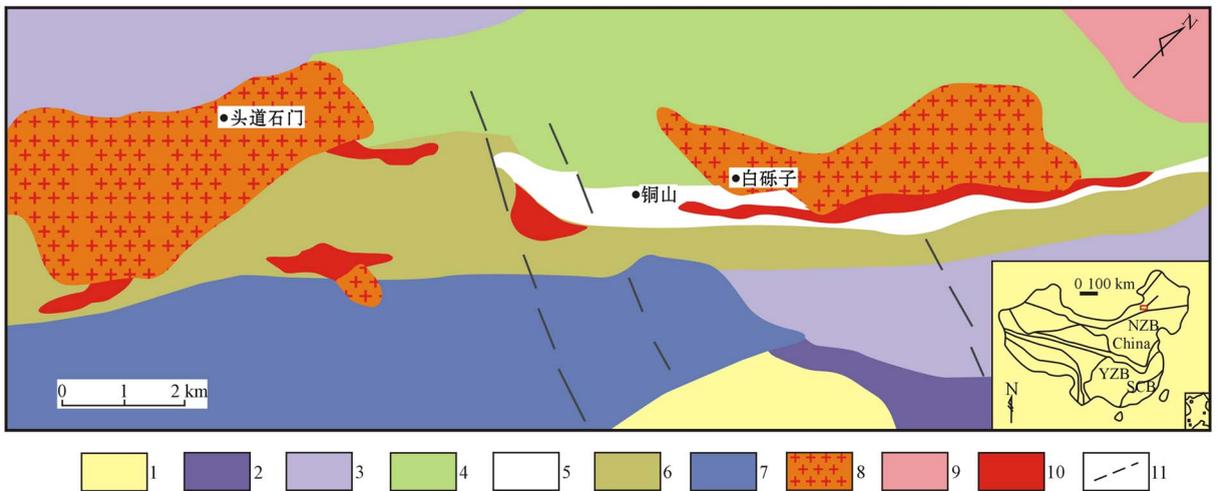


图1 黄岗梁铁矿地质简图(修改自王莉娟等,2001)

Fig. 1 Geological map of the Huanggangliang Fe-Sn deposit (modified after Wang Lijuan *et al.*, 2001)

- 1—上侏罗统凝灰角砾岩; 2—中侏罗统砂砾岩; 3—下二叠统林西组砂板岩; 4—下二叠统黄岗梁组凝灰质粉砂岩; 5—下二叠统黄岗梁组大理岩; 6—下二叠统大石寨组安山岩; 7—下二叠统大石寨组碧珉岩; 8—花岗岩; 9—英安斑岩; 10—含矿夕卡岩; 11—断层
- 1—Upper Jurassic tuffaceous breccia; 2—Middle Jurassic sandy conglomerate; 3—sandy slate of Lower Permian Linxi Formation; 4—tuffaceous siltstone of Lower Permian Huanggangliang Formation; 5—marble of Lower Permian Huanggangliang Formation; 6—andesite of Lower Permian Dashizhai Formation; 7—spilite of Lower Permian Dashizhai Formation; 8—granite; 9—dacite porphyry; 10—ore-bearing skarn; 11—fault

体则严格受到花岗岩与安山岩及大理岩的接触面的控制。矿体形态主要有马鞍状、透镜状、不规则状等(周振华等,2010)。

矿床金属矿物组成主要为磁铁矿、赤铁矿、锡石、白钨矿、闪锌矿、斜方砷铁矿、黄铜矿等,还含有辉钼矿、辉铋矿、磁黄铁矿、毒砂及黄铁矿等,脉石矿物主要为石榴石、透辉石、角闪石、萤石、石英、方解石、绿泥石、绿帘石、阳起石及金云母等。黄岗梁铁矿床成矿阶段大致可分为4个阶段:无水夕卡岩阶段、退夕卡岩阶段、石英硫化物阶段和碳酸盐阶段。第1阶段形成矿物主要有透辉石、石榴石、硅灰石、符山石等,且该阶段后期有少量磁铁矿形成;第2阶段矿物组合主要为角闪石、阳起石、透闪石、绿帘石、绿泥石、绢云母和石榴石等,这些矿物均交代早期形成的夕卡岩矿物,同时还形成大量磁铁矿和部分锡石;第3阶段主要生成矿物有辉钼矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、石英等,同时还存在大量的磁铁矿和锡石沉淀(王莉娟等,2001);第4阶段主要形成方解石及少量绿帘石、绿泥石、萤石等。矿石结构包括自形一半自形粒状结构、交代残余结构等,矿石构造主要为块状构造、角砾状构造、浸染状构造、条带状构造、脉状、细脉状构造等。围岩蚀变类型主要为夕卡岩化、钾化、硅化、角岩化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石

及绿泥石化等,其中与成矿关系最为密切的蚀变类型为夕卡岩化。蚀变带较为明显,从围岩到夕卡岩矿体,可依次分为硅化围岩、角岩、退化蚀变岩、贫矿夕卡岩、富矿夕卡岩等(王莉娟等,2002)。

3 样品采集与分析测试方法

花岗岩样品采于距离铁矿体与夕卡岩带较近的花岗岩体中,岩石较新鲜未风化。新鲜面呈肉红色,中细粒花岗结构,块状构造,主要由石英(30%)、钾长石(50%)、斜长石(15%)组成。石英主要呈他形粒状,有的呈斑晶出现,发育少量裂隙(图2),粒度一般为0.5~1.0 mm。镜下观察表明钾长石粒度大小为0.5~1.0 mm,矿物表面具有绢云母化和泥化现象,具有较为明显的卡氏双晶(图2)。部分斜长石也具有绢云母化现象。暗色矿物主要为黑云母(3%)和辉石(2%),副矿物主要为磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、榍石以及锆石、萤石等。

将样品人工破碎后,按常规重力和磁选方法分选出锆石,然后在双目镜下挑选。将分选出纯净的锆石颗粒和标样一同置于环氧树脂中制成靶,然后用于透射光、反射光及阴极发光研究。锆石 LA-ICP-MS测试分析在中国地质大学(北京)科学研究

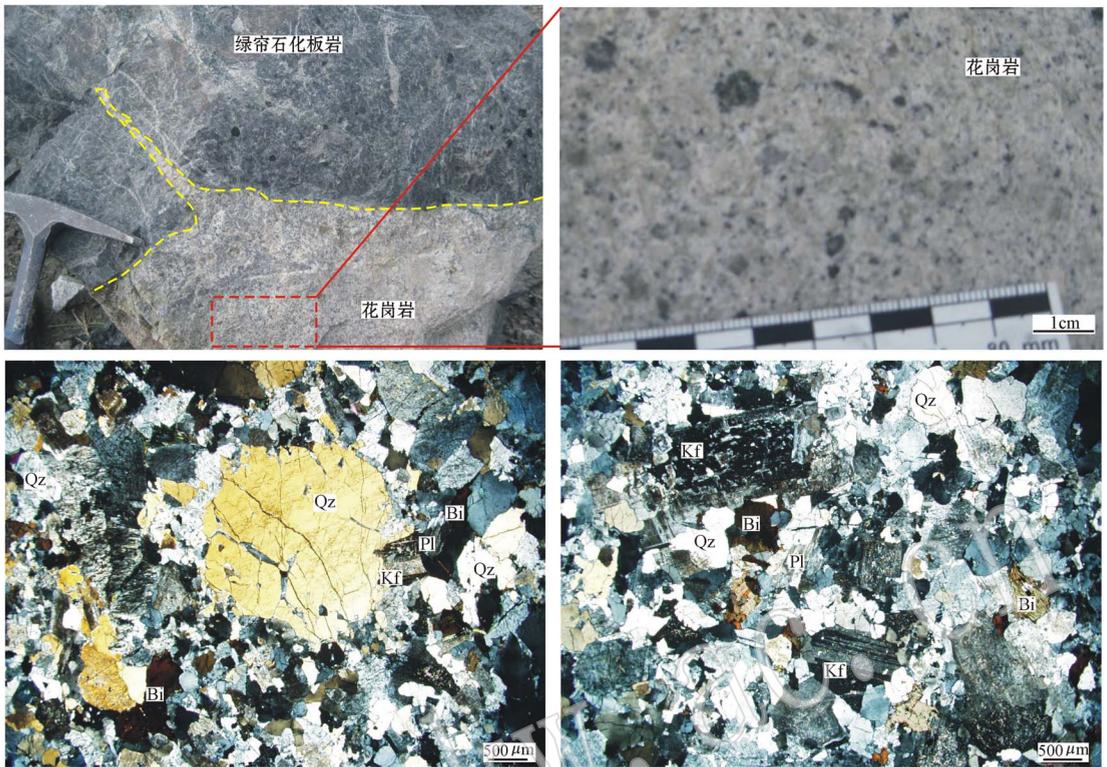


图 2 黄岗梁铁矿床花岗岩野外产出特征和镜下矿物组成

Fig. 2 Modes of occurrence and mineral compositions of the granite in the Huanggangliang Fe-Sn deposit

Qz—石英; Kf—钾长石; Pl—斜长石; Bi—黑云母

○ Qz—quartz; Kf—K-feldspar; Pl—plagioclase; Bi—biotite

院 LA-ICP-MS 实验室完成。分析使用的激光器型号为美国 New Wave 公司 UP193SS 型激光器, 激光波长为 193 nm。束斑直径为 36 μm , 激光频率为 10 Hz; 预剥蚀时间和剥蚀时间分别为 5 s 和 45 s。实验过程使用 He 作为载气, 流速为 0.8 L/min。等离子质谱(ICP-MS)型号为美国 Agilent 公司生产的 7500 a 型质谱仪; 元素积分时间 U、Th、Pb 为 20 ms, Si、Zr 为 6 ms, 其他元素为 10 ms。数据处理软件使用 Glitter 4.4.1。年龄计算时以标准锆石 TEM 为外标进行同位素比值校正, 标准锆石 91500 和 Qinghu 为监控盲样。元素含量以国际标样 NIST610 为外标, Si 为内标计算, NIST612 和 NIST614 做监控盲样, ^{204}Pb 校正方法同 Andersen(2002)。

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成, 化学分离、ICP-MS 测定和数据处理按照 Re-Os 同位素测试的实验流程与标准执行(杜安道等, 2001; 屈文俊等, 2003; Du *et al.*, 2004), 质谱测定采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series

ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re, 选择质量数 185、187, 用 190 监测 Os; 对于 Os, 选择质量数为 186、187、188、189、190、192, 用 185 监测 Re。

4 分析结果

选出的锆石为无色透明或浅黄色, 结晶较好, 呈典型的长柱状晶形(图 3)。锆石的 Th/U 比值均大于 0.1(表 1), 属于典型的岩浆成因锆石(Belousova *et al.*, 1998)。锆石的阴极发光图像表明所有锆石均具有典型的岩浆震荡环带(图 3), 不具有核-幔结构, 无后期变质壳, 表明这些锆石是岩浆形成后一次结晶形成的, 锆石的形成年龄可代表岩浆结晶冷却的年龄。锆石中 Th 和 U 的含量变化较大, 分别为 $52.85 \times 10^{-6} \sim 293.05 \times 10^{-6}$ 和 $160.64 \times 10^{-6} \sim 679.81 \times 10^{-6}$ 。花岗岩 28 颗锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 数据结果列于表 1, 结果表明锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 135~144 Ma, 加权平均年龄为 139.96 ± 0.87 Ma (MSWD=1.2, $n=28$)。在 U-Pb 年龄谐和图上所有

表1 黄岗梁铁矿花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析数据

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons from the Huanggangliang Fe deposit

测点号	$w_B/10^{-6}$				比值				同位素比值				年龄/Ma											
	Pb		Th		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$									
									1 σ	1 σ														
HGL25-02	4.322	129	68.23	171.13	0.398	703	0.049	14	0.002	54	0.148	68	0.007	64	0.021	94	0.000	35	155	89	141	7	140	2
HGL25-03	8.239	922	157.85	319.39	0.494	223	0.050	76	0.002	02	0.152	14	0.006	08	0.021	74	0.000	31	230	66	144	5	139	2
HGL25-04	7.381	238	116.14	283.97	0.408	987	0.048	71	0.001	79	0.151	77	0.005	59	0.022	59	0.000	33	134	59	143	5	144	2
HGL25-05	7.415	987	120.27	286.29	0.420	099	0.049	03	0.001	8	0.151	07	0.005	58	0.022	34	0.000	33	149	59	143	5	142	2
HGL25-06	4.050	407	71.26	158.46	0.449	703	0.048	75	0.002	51	0.147	82	0.007	58	0.021	99	0.000	35	136	88	140	7	140	2
HGL25-07	7.618	471	107.84	316.53	0.340	694	0.049	03	0.001	88	0.143	56	0.005	53	0.021	23	0.000	31	149	63	136	5	135	2
HGL25-08	4.221	048	81.54	165.49	0.492	719	0.051	18	0.003	7	0.150	64	0.010	86	0.021	34	0.000	35	249	134	142	10	136	2
HGL25-09	10.151	06	174.48	398.53	0.437	809	0.049	45	0.002	07	0.149	38	0.006	29	0.021	91	0.000	31	169	72	141	6	140	2
HGL25-10	13.150	32	177.72	526.17	0.337	762	0.048	93	0.001	35	0.149	39	0.004	21	0.022	14	0.000	31	144	40	141	4	141	2
HGL25-11	4.074	884	86.04	157.83	0.545	144	0.049	44	0.004	48	0.147	47	0.013	33	0.021	63	0.000	35	169	173	140	12	138	2
HGL25-12	5.617	992	79.71	215.13	0.370	52	0.049	22	0.004	33	0.153	85	0.013	29	0.022	66	0.000	51	158	152	145	12	144	3
HGL25-13	5.789	595	109.01	222.55	0.489	823	0.048	79	0.003	26	0.149	49	0.009	97	0.022	22	0.000	34	138	122	141	9	142	2
HGL25-14	9.043	439	144.16	352.79	0.408	628	0.049	13	0.001	84	0.151	32	0.005	69	0.022	33	0.000	33	154	60	143	5	142	2
HGL25-15	12.331	09	184.41	488.11	0.377	804	0.049	53	0.001	51	0.151	72	0.004	69	0.022	21	0.000	32	173	45	143	4	142	2
HGL25-16	5.398	75	83.12	219.32	0.378	99	0.048	44	0.002	94	0.144	23	0.008	75	0.021	59	0.000	34	121	107	137	8	138	2
HGL25-17	16.745	92	293.05	679.81	0.431	076	0.048	81	0.001	54	0.145	89	0.004	68	0.021	68	0.000	31	139	49	138	4	138	2
HGL25-18	4.742	867	74.09	189.91	0.390	132	0.049	02	0.003	08	0.146	52	0.009	19	0.021	68	0.000	35	149	111	139	8	138	2
HGL25-19	4.116	09	52.85	160.64	0.328	997	0.048	31	0.002	31	0.148	42	0.007	07	0.022	28	0.000	35	114	79	141	6	142	2
HGL25-20	5.623	365	92.29	230.19	0.400	93	0.048	28	0.002	85	0.143	1	0.008	41	0.021	49	0.000	35	113	102	136	7	137	2
HGL25-21	12.686	18	194.9	515.6	0.378	006	0.051	74	0.002	68	0.155	35	0.007	72	0.021	78	0.000	31	274	121	147	7	139	2
HGL25-22	8.002	886	136.24	310.58	0.438	663	0.048	97	0.001	71	0.149	65	0.005	25	0.022	16	0.000	33	146	54	142	5	141	2
HGL25-23	4.588	282	96.45	177.59	0.543	105	0.050	08	0.003	66	0.149	73	0.010	92	0.021	68	0.000	34	199	136	142	10	138	2
HGL25-24	8.091	526	118.68	302.75	0.392	007	0.051	98	0.003	62	0.160	91	0.010	9	0.022	45	0.000	36	284	161	152	10	143	2
HGL25-26	9.244	93	167.46	351.7	0.476	144	0.048	71	0.002	78	0.147	73	0.008	15	0.021	99	0.000	32	134	129	140	7	140	2
HGL25-27	8.093	548	87.47	216.3	0.404	392	0.049	24	0.001	99	0.150	6	0.006	09	0.022	18	0.000	33	159	67	142	5	141	2
HGL25-28	7.720	476	132.23	302.13	0.437	659	0.049	6	0.002	24	0.150	02	0.006	8	0.021	93	0.000	33	176	78	142	6	140	2
HGL25-29	8.659	567	159.03	319.86	0.497	186	0.049	16	0.002	27	0.150	56	0.006	97	0.022	21	0.000	33	155	80	142	6	142	2
HGL25-30	10.821	36	222.11	414.13	0.536	329	0.049	24	0.001	83	0.147	98	0.005	54	0.021	79	0.000	31	159	61	140	5	139	2

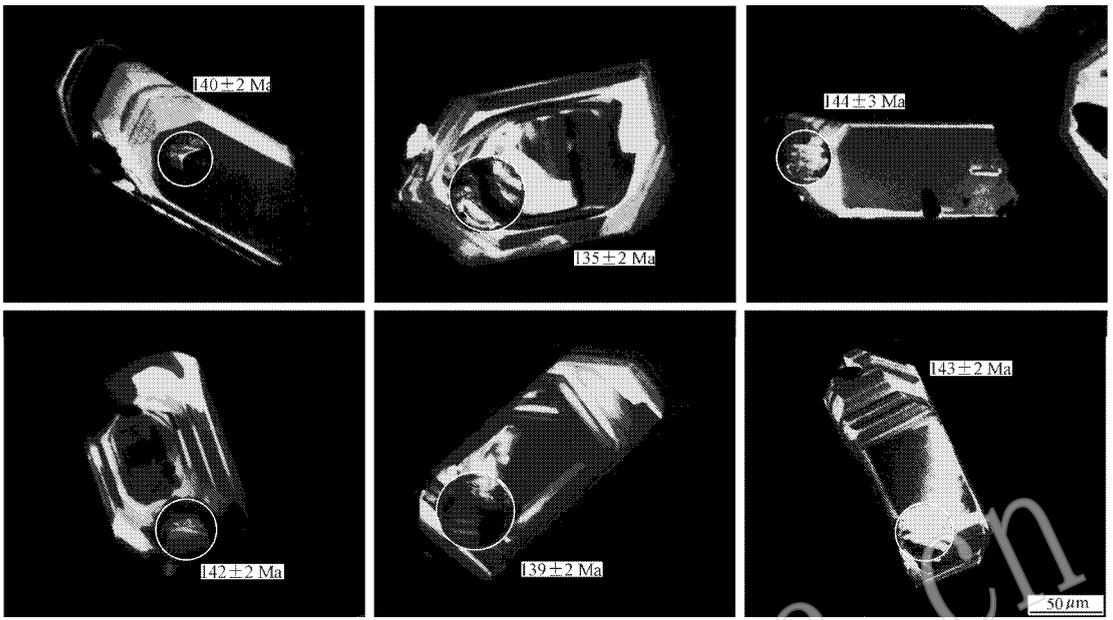


图 3 黄岗梁铁矿床花岗岩锆石阴极发光图像及测试位置

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images and measuring positions of representative zircons from the granite in the Huangnagiang Fe deposit

数据点均在谐和线或其附近(图 4) 显示很好的谐和性,没有 U 或 Pb 同位素的明显丢失或加入,测试结果可代表花岗岩真实的结晶年龄。锆石 U-Pb 年龄结果显示与黄岗梁铁矿床关系密切的花岗岩属于燕山期早白垩世岩浆活动的产物。

为获得精确的成矿时代,本文在收集前人对该

矿床所做的辉钼矿 5 个 Re-Os 同位素数据的基础上,分析了样品 07HGL-05 的 Re-Os 同位素数据。这 6 个辉钼矿 Re-Os 同位素的模式年龄为 $133.6 \pm 1.8 \sim 141.5 \pm 2.5$ Ma(表 2)。将上述 6 个数据一起进行处理,得到它们的加权平均年龄为 135.1 ± 2.3 Ma(图 5)等时线年龄为 134.9 ± 5.2 Ma(图 6)。该成矿

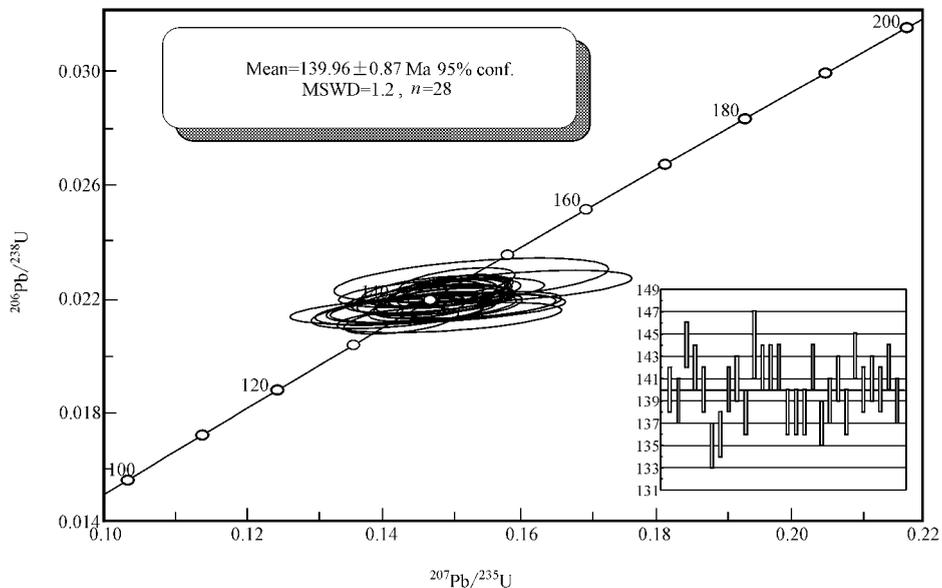


图 4 黄岗梁铁矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Concordia diagram of zircon U-Pb age of the granite from the Huangnagiang Fe deposit

表 2 黄岗梁铁矿床辉钼矿 Re-Os 同位素组成

Table 2 Re-Os isotopic data of molybdenites from the Huanggangliang Fe deposit

样号	m/g	$\epsilon(\text{Re})\%$ 10^{-9}	$\epsilon(\text{Os}_{\text{普通}})\%$ 10^{-9}	$\epsilon(^{187}\text{Re})\%$ 10^{-9}	$\epsilon(^{187}\text{Os})\%$ 10^{-9}	模式年龄/ Ma(2 σ)	数据来源
07HGL-05	0.638 00	32.76	0.006 3	20.3	0.049 3	141.5(2.5)	本文
07HGL-04	0.659 00	32.77	0.006 2	20.6	0.048 5	141.2(4.3)	张梅等(2011)
WZK1XTX(46)	0.050 30	16 025	0.056 4	10 072	22.44	133.6(1.8)	张梅等(2011)
HG-2-29	0.408 00	243.1	0.000 0017	152	0.000 344	135.1(2)	周振华等(2010)
HG-2-30	0.407 00	274.6	0.000 0147	172.6	0.000 384	134.6(2)	周振华等(2010)
HG-2-31	0.409 00	274.7	0.000 0006	172.6	0.000 389	134.9(2)	周振华等(2010)

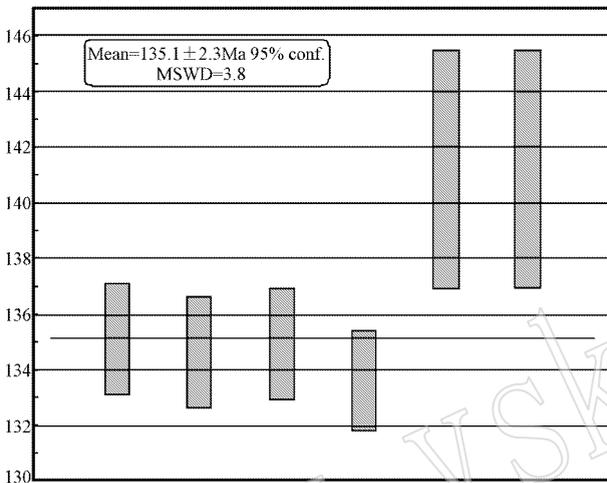


图 5 黄岗梁铁矿辉钼矿模式年龄加权平均值

Fig. 5 Weighted average age of molybdenite from the Huanggangliang Fe deposit

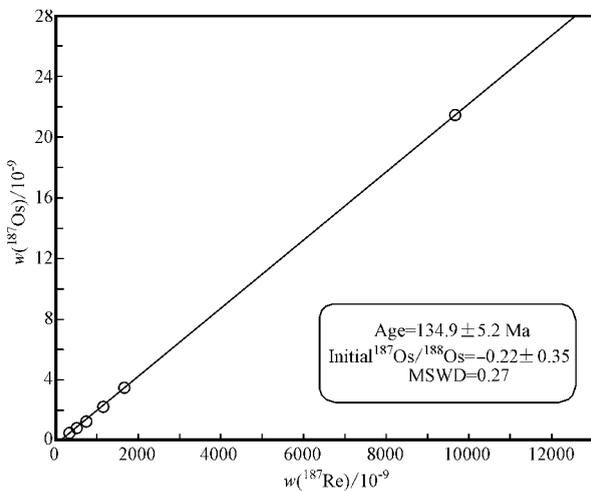


图 6 黄岗梁铁矿辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄

Fig. 6 Re-Os isochron age of molybdenite from the Huanggangliang Fe deposit

年龄结果表明黄岗梁铁矿床的成矿时代属于燕山期。

5 讨论

5.1 成岩、成矿时代

精确厘定矿床的成岩、成矿时代对于认识矿床成因起到至关重要的作用。前人对黄岗梁铁矿的成岩年龄做了较多的工作,如赵一鸣等(1997)获得花岗岩体的 Rb-Sr 等时线年龄为 142 Ma,锡矿物中蚀变矿物角闪石 K-Ar 年龄为 122 Ma,年龄差别大致为 20 Ma 左右。而 Ishihara 等(2001)利用钾长石 K-Ar 方法获得岩体的年龄为 137 ± 3 Ma。通过前人获得的成岩年龄可知,不同方法获得的年龄结果相差较大,不能代表精确而真实的成岩年龄。这是由于全岩的 K-Ar 和 Rb-Sr 等时线法存在较大的不确定性:全岩的 K-Ar 同位素体系通常记录着成岩或成矿末期的封闭时间;Rb-Sr 同位素体系经常会受到后期地质事件(如变质作用)的扰动,因而往往不能代表岩体真实的结晶年龄。而采用锆石的 U-Pb 同位素体系来获得成岩年龄和采用辉钼矿的 Re-Os 同位素体系获取成矿年龄都是非常可靠的办法,这是因为它们的封闭温度都比较高(前者约为 750°C ,后者约为 430°C ,据 McInnes *et al.*, 2005),受后期热液、变质和构造事件影响较小(Stein *et al.*, 2001)相对获得的结果更为可靠。本次研究获得的成岩和成矿年龄分别为 139.96 ± 0.87 Ma 和 134.9 ± 5.2 Ma,在误差范围内基本一致,表明成矿事件的发生与成岩过程有紧密的时间联系。从成矿空间角度来讲,矿床矿体直接产于花岗岩体和围岩接触带,与花岗岩的空间关系紧密。因此,通过矿床地质特

征及成岩、成矿年代学研究,认为黄岗梁铁锡矿床是燕山期中酸性岩浆热液与围岩接触交代形成的夕卡岩型矿床。

5.2 区域成矿特征启示

关于大兴安岭中南段区域成矿特征及典型矿床的成矿作用已有众多学者做了讨论(华仁民等,1999;毛景文等,2000,2003,2005;杜保峰等,2010)。本文综合这些研究成果,并结合近年来关于华北地台北缘以及西拉木伦河成矿带的典型矿床研究,综合分析该区的成矿特征。本文共统计了大兴安岭中南段地区 52 个矿床的成岩、成矿时代数据,显示从燕山早期(如三沟沟 CuAu 矿床, 177 ± 3 Ma,葛文春等,2007)到晚期(巴尔哲 REE 矿床, 127 Ma,赵一鸣等,1997)整个时间段均有成矿事件发生。而燕山期成矿事件集中爆发的时间段为 130~140 Ma,如黄岗梁 Fe-Sn 矿床(139.96 Ma,本文)、维拉斯托 Cu-Zn 矿床(133.4 Ma,潘小菲等,2009)、太平沟 Mo 矿床(130.1 Ma,翟德高等,2009)、浩布高 Pb-Zn 矿床(131.2 Ma,盛继福等,1999)等,这已成为中国北方最为突出的成矿高峰期(毛景文等,2003,2005;马星华等,2009)。除燕山期成矿以外,印支期也是该区一个重要的成矿期(210~250 Ma),代表性的矿床主要有库里吐 CuMo 矿床(236 Ma,转引自张连昌等,2010)、毛登 Sn 矿床(215.2 Ma,转引自周振华等,2010)、车户沟 CuMo 矿床(245 Ma,转引自张连昌等,2010)等。

大兴安岭中南段成矿带内成岩和成矿整体呈现出一定的时空分布规律。其中,与成矿关系密切的燕山期侵入岩均受到断裂的控制,总体呈北东向展布,由南东至北西向,酸性和碱性程度有逐渐增高的趋势,岩石类型则由花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩向花岗岩、钾长花岗岩和碱性花岗岩过渡(马星华等,2009)。成矿元素组合从燕山早期到晚期具有 Cu-Pb-Zn、Pb-Zn-Mo、Sn-Pb-Zn-Mo-Ag-稀有金属的成矿元素演化序列。毛景文等(2005)通过对大兴安岭南段的锡铅锌铜多金属矿床的成岩成矿年代学研究,认为 160~180 Ma 为铜铅锌银成矿期,140 Ma 左右为锡多金属成矿期,120 Ma 左右为稀有金属矿床成矿期,大致成矿顺序为 Cu、PbZn、Sn 多金属到稀有稀土矿。该成矿带内除燕山期成矿外,也存在海西期和印支期形成的多金属矿床(赵一鸣等,1997)。所以该区总体的成矿特点为:成矿时间跨度大(120~270 Ma)、短时间内(130~140 Ma)集中爆发式成

矿、成矿元素多元化(Cu-Pb-Zn-Fe-Ag-Au-Mo-W-Sn-REE-U)、成矿多与中酸性岩浆活动有关、成矿系统较为完整。

5.3 成矿地球动力学背景

大兴安岭中南段区域地壳演化可分为前中生代变质海相火山-沉积岩基底、中生代早中期陆相火山岩盖层和中生代晚期-新生代伸展构造 3 个阶段(Xiao *et al.*, 2003)。前中生代时期,华北陆台和西伯利亚板块之间经历了长期、多阶段的俯冲和碰撞,以大规模的岛弧体系发育和陆缘增生为特征,形成了以软碰撞造山为特征的多边界汇聚缝合造山带(任纪舜等,1999)。至二叠纪末期,随着古亚洲洋沿着索伦缝合带的最后消失,华北克拉通与西伯利亚板块成为统一的整体,形成巨型中亚造山带(Xiao *et al.*, 2004),从此之后进入了碰撞后地壳演化阶段。至此,大兴安岭地区的主体构造单元格架和布局也逐渐形成(刘建明等,2004),形成的火山-沉积地层构成了区域新的基底,成为良好的矿源层,为成矿元素的活化、再富集创造了条件。

部分学者研究认为,在早白垩世(140~96 Ma 为主)时期,该区岩石圈发生大规模面型拆沉和减薄(邵济安等,2005),软流层上涌使古老岩石圈地幔发生进一步肢解和变形(邵济安等,1998)。此时蒙古鄂霍次克洋盆开始关闭,“西伯利亚大陆开始完成与欧亚大陆拼合过程”,太平洋板块形成并向西俯冲,而南部特提斯洋进一步闭合;尤其在太平洋板块俯冲作用下导致深部软流层继续发生上涌底侵。随后该区岩石圈进入全新的从挤压向伸展转变和巨大减薄阶段,软流层大规模上涌成山(肖庆辉等,2006)。直到晚白垩世—早第三纪该区发生大面积隆升,缺失这一时期的沉积和火山活动,标志大兴安岭造山带演化过程的结束(邵济安等,2005)。有的研究者在大兴安岭中南段地区先后发现早中生代的一套幔源镁铁质堆晶岩和侵入体、早中侏罗世及早白垩世的基性岩墙群和早白垩世(130~120 Ma)超基性的角闪岩和碱性橄榄玄武岩,由此认为大兴安岭晚中生代的花岗岩-火山活动为伸展背景下岩浆演化的一个阶段(邵济安等,1999)。这些幔源岩石的存在表明,中生代早期该区岩石圈深部处于一种活跃的伸展状态,其拉伸强度具有间隙性的变化(邵济安等,1998),而岩墙群和花岗岩大规模的侵位也是岩石圈伸展的重要体现。

分析该区整个构造演化过程与成矿背景可以确

认该区成矿作用的发生与区域中生代的岩浆-构造事件密切相关。许多研究者(华仁民等,1999;毛景文等,2005;杜保峰等,2010)通过对中国东部中生代矿床的成矿时代进行研究,提出燕山期出现大规模集中成矿作用的结论。中生代大规模成矿作用可以分为两次,第1次出现于印支期中国两大古陆碰撞对接后的伸展环境(毛景文等,2008);第2次大规模成矿作用始于燕山期,于晚侏罗世—早白垩世爆发式成矿(毛景文等,2000)。毛景文等(2003,2005,2008)通过对我国北方主要成矿区带和一些大型矿集区的成矿期次及地球动力学背景深入分析后,提出了中国东部大规模成矿作用集中出现在200~160 Ma、140 Ma左右和120 Ma这3个峰值期,这三大成矿事件所对应的地球动力学背景分别为后碰撞造山过程、构造体制大转折期和岩石圈大规模快速减薄。结合矿床地质特征以及成岩成矿年代和区域构造演化,认为黄岗梁铁矿床形成的动力学背景为岩石圈构造体制大转变,即岩石圈由全面的挤压向伸展过渡。这种岩石圈的构造体制转变可使得深部的熔融物质上涌,形成巨大规模的中酸性岩浆活动,并在合适的空间侵位演化为成矿流体,在浅部流体的参与下,进而发生了中国东部中生代大规模的成矿事件。

6 结论

(1) 内蒙古黄岗梁铁锡矿床花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 139.96 ± 0.87 Ma, 表明花岗岩为早白垩世岩浆活动的产物;

(2) 由矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 134.9 ± 5.2 Ma 获得的成矿年代学结果与成岩年代在误差范围内基本一致,均处于燕山期大规模岩浆活动期内;

(3) 黄岗梁铁锡矿床形成于大兴安岭成矿带140 Ma左右的锡多金属成矿高峰期,矿床形成的动力学背景为岩石圈构造体制由全面的挤压向伸展过渡阶段。

致谢 匿名审稿人提出了非常宝贵的修改意见,锆石阴极发光得到了北京大学物理学院陈莉老师的帮助,野外工作得到了黄岗梁铁矿相关工作人员的配合,作者一并深感谢意。

References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79.
- Belousova E A, Griffin W L and Pearson N J. 1998. Trace element composition and catholuminescence properties of southern African kimberlitic zircons [J]. *Mineralogical Magazine*, 62: 355-366.
- Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, et al. 2004. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41-52.
- Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. 2001. Precise Re-Os Dating for Molybdenite by ID-NTIMS with Carius Tube Sample Preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du Baofeng, Wei Junhao, Wang Qi, et al. 2010. Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism and mineralization of molybdenum deposits in east China [J]. *Mineral Deposits*, 29(6): 935-955 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan, et al. 2007. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic garnites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 423-440 (in Chinese with English abstract).
- Guo Lijun, Xie Yuling, Hou Zengqian, et al. 2009. Geology and ore fluid characteristics of the Bairendaba silver polymetallic deposit in Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(1): 26-36 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin and Mao Jingwen. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China [J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 300-307 (in Chinese with English abstract).
- Ishihara D, Mizuta T, Ishikawa, et al. 2001. Geochemical characteristics of igneous rocks and tin-copper mineralization [R]. Project Final Report of Chinese Research Center for Mineral Resources Exploration, 4: 115-138.
- Liu Jiajun, Xing Yongliang, Wang Jianping, et al. 2010. Discovery of falkmanite from the Bairendaba superlarge Ag-Pb-Zn polymetallic deposit, Inner Mongolia and its origin significance [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(3): 565-572 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Zhang Rui and Zhang Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 269-273 (in Chinese with English abstract).
- Lü Zhicheng, Duan Guozheng, Liu Congqiang, et al. 2000. Types, metallogenic series and geochemistry of silver ore deposit in Da Hinggan regions [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 19(4): 305-309 (in Chinese with English abstract).

- Ma Xinghua, Chen Bin, Lai Yong, *et al.* 2009. Petrogenesis and mineralization chronology study on the Aolunhua porphyry Mo deposit, Inner Mongolia, and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2 939~2 950 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Yitian, Zhang Zuoheng, *et al.* 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas [J]. *Science in China (Series D)*, 46(8): 838~851.
- Mao Jingwen and Wang Zhiliang. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China [J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289~296 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, *et al.* 2003. Geodynamic settings of large-scale metallogeny in north China and adjacent areas in Mesozoic: implications from precisely mineralization ages [J]. *Science in China, Ser. D*, 33(4): 289~299 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, *et al.* 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in south China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal of China Universities*, 14: 510~526 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Zuoheng, *et al.* 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in north China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169~188 (in Chinese with English abstract).
- McInnes B A, Evans N J, Fu F Q, *et al.* 2005. Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits [J]. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 58: 467~498.
- Pan Xiaofei, Guo Lijun, Wang Shuo, *et al.* 2009. Laser microprobe Ar-Ar dating of biotite from the Weilasituo Cu-Zn polymetallic deposit in Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(5): 473~479 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun, Niu Baogui and Liu Zhigang. 1999. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing [J]. *Earth Science Frontiers*, 6(3): 85~93 (in Chinese with English abstract).
- Ren Yaowu. 1995. Analysis of regional structure about the Sn-Cu-polymetallic deposits in south-eastern section of the Da Hinggan region [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 1: 33~34 (in Chinese).
- Qu Wenjun and Du Andao. 2003. Highly Precise Re-Os Dating of Molybdenite by ICP-MS with Carius Tube Sample Digestion [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254~262 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zhang Lūqiao and Mou Baolei. 1998. Tectonic-thermal evolution of middle-southern section of the Da Hinggan area in Mesozoic [J]. *Science in China (Series D)*, 28(3): 193~200 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zhang Lūqiao and Mou Baolei. 1999. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mt. [J]. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 339~346 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zhang Lūqiao, Xiao Qinghui, *et al.* 2005. Rising of Da Hinggan Mts in Mesozoic: A possible mechanism of intracontinental orogeny [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 792~793 (in Chinese with English abstract).
- Sheng Jifu, Fu Xianzheng and Li Henian. 1999. Metallogenetic Environment and Geological Characteristics of Copper-Polymetallic Ore Deposits in Middle Part of Da Hinggan Mt. [M]. Beijing: Geological Publishing House, 139~169 (in Chinese).
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, *et al.* 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works [J]. *Terra Nova*, 13(6): 479~486.
- Wang Changming, Zhang Shouting, Deng Jun, *et al.* 2007. The exhalative genesis of the stratabound skarn in the Huanggangliang Sn-Fe polymetallic deposit of Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(5): 409~417 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jingbin, Wang Yuwang and Wang Lijuan. 2000. Copper metallogenic setting and prospecting potential in the middle-southern part of Da Hinggan Mountains [J]. *Geology and Prospecting*, 36(5): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lijuan, Shimazaki H, Wang Jingbin, *et al.* 2001. Ore-forming fluids and metallization of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit, Inner Mongolia [J]. *Sci. China (D)*, 44(8): 735~747.
- Wang Lijuan, Wang Jingbin and Wang Yuwang, *et al.* 2002. REE geochemistry of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 575~584 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Wu Guangying, *et al.* 2006. Mesozoic asthenospheric upwelling orogeny in eastern China [J]. *Geology in China*, 33(4): 730~747 (in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. *Tectonics*, 22(6): 1 069~1 089.
- Xiao Wenjiao, Zhang Lianchang, Qin Kezhang, *et al.* 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): Implication for the continental growth of central Asia [J]. *American Journal of Science*, 304: 370~395.
- Xue Huaimin, Guo Lijun, Hou Zengqian, *et al.* 2010. SHRIMP zircon U-Pb ages of the middle Neopaleozoic unmetamorphosed magmatic rocks in the southwestern slope of the Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 811~823 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Degao, Liu Jiajun, Wang Jianping, *et al.* 2009. Re-Os isotopic chronology of molybdenite from the Taipinggou porphyry-type molybdenum deposit in Inner Mongolia and its geological significance [J]. *Geosciences*, 23(2): 262~268 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Wu Huaying, Xiang Peng, *et al.* 2010. Ore-forming processes and mineralization of complex tectonic system during the Mesozoic: A case from Xilamulun Cu-Mo metallogenic belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1 351~1 362 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Mei, Zhai Yusheng, Shen Cunli, *et al.* 2011. Metallogenic system of copper polymetallic deposits in the middle southern part of Da

- Hinggan Mountains, China [J]. *Geoscience*, 25(5): 819~831 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yiming and Zhang Dequan. 1997. Metallogenic Regularity and Prospective Evaluation of the Copper-Polymetallic Deposits in Daxinganling and Adjacent Areas [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1~318 (in Chinese).
- Zhou Zhenhua, Liu Hongwei, Chang Guoxiong, et al. 2011a. Mineralogical characteristics of skarns in the Huanggang Sn-Fe deposit of Inner Mongolia and their metallogenic indicating significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(1): 97~112 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhenhua, Lü Linsu, Feng Jiarui, et al. 2010. Molybdenite Re-Os ages of Huanggangliang skarn Sn-Fe deposit and their geological significance, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 667~679 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhenhua, Lü Linsu and Wang Aishun. 2011b. Deep source characteristics and tectonic-magmatic evolution of granites in the Huanggang Sn-Fe deposit, Inner Mongolia: constraint from Sr-Nd-Pb-Hf multiple isotopes [J]. *Geological Science and Technology Information*, 30(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定铀钼矿铷-锶同位素地质年龄 [J]. *岩矿测试*, 20(4): 247~252.
- 杜保峰, 魏俊浩, 王启, 等. 2010. 中国东部钼矿成矿背景与成岩成矿时差讨论 [J]. *矿床地质*, 29(6): 935~955.
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 等. 2007. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义 [J]. *岩石学报*, 23(2): 423~440.
- 郭利军, 谢玉玲, 侯增谦, 等. 2009. 内蒙古拜仁达坝银多金属矿床地质及成矿流体特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 28(1): 26~36.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发 [J]. *矿床地质*, 18(4): 300~307.
- 刘家军, 邢永亮, 王建平, 等. 2010. 内蒙拜仁达坝超大型 Ag-Pb-Zn 多金属矿床中钼硫铋铅矿的发现与成因意义 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 40(3): 565~572.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征 [J]. *地学前缘*, 11(1): 269~273.
- 吕志成, 段国正, 刘丛强, 等. 2000. 大兴安岭地区银矿床类型、成矿系列及成矿地球化学特征 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 19(4): 305~309.
- 马星华, 陈斌, 赖勇, 等. 2009. 内蒙古敖伦花斑岩钼矿床成岩成矿年代学及地质意义 [J]. *岩石学报*, 25(11): 2939~2950.
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨 [J]. *矿床地质*, 19(4): 289~296.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 33(4): 289~299.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. *高校地质学报*, 14: 510~526.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景 [J]. *岩石学报*, 21(1): 169~188.
- 潘小菲, 郭利军, 王硕, 等. 2009. 内蒙古维拉斯托铜钼矿床的白云母 Ar/Ar 年龄探讨 [J]. *岩石矿物学杂志*, 28(5): 473~479.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定铀钼矿铷-锶地质年龄 [J]. *岩矿测试*, 22(4): 254~262.
- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用 [J]. *地学前缘*, 6(3): 85~93.
- 任耀武. 1995. 大兴安岭东南缘锡铜多金属矿床区域控矿因素分析 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1: 33~34.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1998. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 28(3): 193~200.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用 [J]. *地学前缘*, 6(4): 339~346.
- 邵济安, 张履桥, 肖庆辉, 等. 2005. 中生代大兴安岭的隆起——一种可能的陆内造山机制 [J]. *岩石学报*, 21(3): 792~793.
- 盛继福, 付先政, 李鹤年. 1999. 大兴安岭中南段成矿环境与铜多金属矿床地质特征 [M]. 北京: 地震出版社, 139~169.
- 王长明, 张寿庭, 邓军, 等. 2007. 内蒙古黄岗梁铁锡多金属矿床层状夕卡岩的喷流沉积成因 [J]. *岩石矿物学杂志*, 26(5): 409~417.
- 王京彬, 王玉往, 王莉娟. 2000. 大兴安岭中南段铜矿成矿背景及找矿潜力 [J]. *地质与勘探*, 36(5): 1~4.
- 王莉娟, 岛崎英彦, 王京彬, 等. 2001. 黄岗梁砂卡岩型铁锡矿床成矿流体及成矿作用 [J]. *中国科学 D 辑*, 31(7): 553~562.
- 王莉娟, 王京彬, 王玉往, 等. 2002. 内蒙黄岗梁砂卡岩型铁锡矿床稀土元素地球化学 [J]. *岩石学报*, 18(4): 575~584.
- 肖庆辉, 邱瑞照, 伍光英, 等. 2006. 中国东部中生代软流层上涌造山作用 [J]. *中国地质*, 33(4): 730~747.
- 薛怀民, 郭利军, 侯增谦, 等. 2010. 大兴安岭西南坡成矿带晚古生代中期未变质岩浆岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学 [J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 811~823.
- 翟德高, 刘家军, 王建平, 等. 2009. 内蒙古太平沟斑岩型钼矿床 Re-Os 等时线年龄及其地质意义 [J]. *现代地质*, 23(2): 262~268.
- 张连昌, 吴华英, 相鹏, 等. 2010. 中生代复杂构造体系的成矿过程与成矿作用——以华北大陆北缘西拉木伦钼铜多金属成矿带为例 [J]. *岩石学报*, 26(5): 1351~1362.
- 张梅, 翟裕生, 沈存利, 等. 2011. 大兴安岭中南段铜多金属矿床成矿系统 [J]. *现代地质*, 25(5): 819~831.
- 赵一鸣, 张德全. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价 [M]. 地震出版社, 1~318.
- 周振华, 刘宏伟, 常帼雄, 等. 2011a. 内蒙古黄岗锡铁矿床夕卡岩矿物学特征及其成矿指示意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 30(1): 97~112.
- 周振华, 吕林素, 冯佳睿, 等. 2010. 内蒙古黄岗夕卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 26(3): 667~679.
- 周振华, 吕林素, 王挨顺. 2011b. 内蒙古黄岗锡铁矿床花岗岩深部源区特征与构造岩浆演化: Sr-Nd-Pb-Hf 多元同位素制约 [J]. *地质科技情报*, 30(1): 1~14.