

文章编号: 1009-3850(2016)04-0095-11

大兴安岭东北部塔河地区早白垩世高 Sr 低 Yb 型 侵入岩的年代学、地球化学特征及地质意义

牛延宏¹, 刘 渊¹, 周志广², 牛文治², 柳长峰²,

赵孝旗², 戴鹏飞², 王志强³

(1. 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 东北地区是中国显生宙花岗岩极其发育的地区, 构造演化复杂。研究大兴安岭东北部塔河地区早白垩世侵入岩是解决大兴安岭地区中生代岩浆演化及构造背景的重要突破口。塔河地区早白垩世侵入岩的岩性主要有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩和花岗闪长斑岩。运用 LA-ICP-MS 测年方法对花岗闪长岩和石英闪长岩进行测年, 锆石 U-Pb 年龄分别为 $131 \pm 1 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.73) 和 $130 \pm 1 \text{ Ma}$ (MSWD = 2.2)。早白垩世侵入岩 SiO_2 含量为 61.32% ~ 71.68%, 为酸性岩类。 Al_2O_3 含量为 13.53% ~ 15.62%, 显示为准铝质或过铝质、高钾钙碱性花岗岩。 ΣREE 为 $(152.28 \sim 253.85) \times 10^{-6}$ 。地球化学特征可分为高 Sr 低 Yb 型和低 Sr 高 Yb 型两类侵入岩, 起源于地壳的不同深度。研究区早白垩世侵入岩形成于蒙古-鄂霍次克洋洋盆自西向东的剪切式收缩闭合作用, 可能与蒙古-鄂霍次克造山带陆-陆碰撞导致下地壳加厚作用有关。

关键词: 早白垩世侵入岩; 蒙古-鄂霍次克造山带; C 型埃达克岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学

中图分类号: P597

文献标识码: A

引言

花岗岩是地球大陆地壳的重要组成部分, 是地球区别于太阳系内其他行星的重要标志^[1]。花岗岩作为特定地质背景下的产物, 是研究大陆形成、演化的重要参照物, 在揭示构造环境和重塑地质演化及区域成矿作用方面具有至关重要的作用^[2-5]。大兴安岭东北部塔河地区位于兴蒙造山带东段, 岩浆区划为大兴安岭构造岩浆带、呼玛-漠河构造岩浆亚带。成矿带属大兴安岭成矿带北侧, 该区因具有大型和超大型金属矿产而成为人们关注的热点之一^[6-11]。近年来, 许多学者对大兴安岭北部地区中

生代火山岩进行了较深入的研究, 初步确定了其年代学格架^[12-21]。但是中国东北地区构造演化复杂, 既是古亚洲洋构造域的一部分^[22-23], 又是蒙古-鄂霍次克造山带的一部分^[24-26], 还属滨太平洋构造域。我们认为, 要解决中国东北地区构造演化问题应该查明大兴安岭中生代岩浆岩成因及其构造背景。目前有两种观点: 第一种观点认为大兴安岭地区中生代受到古太平洋俯冲作用的影响^[13, 27]; 第二种观点认为与蒙古-鄂霍次克洋向南俯冲作用有关^[28-29]。大兴安岭东北部塔河地区早白垩世侵入岩位于兴蒙造山带东段, 是大兴安岭中生代岩浆岩的重要组成部分。因此, 研究大兴安岭东北部塔河

收稿日期: 2016-03-25; 改回日期: 2016-05-18

作者简介: 牛延宏(1964-) 男, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查工作。E-mail: niuyanhong6699@163.com

基金项目: 中华人民共和国开库康幅、塔河县幅、新街基幅区域地质调查(1212011120656)

2.2 样品描述

2.2.1 十五里桥岩体

十五里桥岩体(Gs27)位于十五里桥西南,出露面积约 13km^2 ,主要岩石类型为石英闪长岩和闪长岩等。岩石呈细粒花岗结构,块状构造,岩石由斜长石($65\%\pm$)、钾长石($5\%\pm$)、石英($10\%\pm$)、角闪石($15\%\pm$)、黑云母($5\%\pm$)组成。斜长石为自形、半自形板状,聚片双晶较窄,更长石和中长石(环带发育)大小 $0.5\sim 1.4\text{mm}$;钾长石为他形粒状填隙,条纹长石,条纹斑点状稀疏,大小 $0.5\sim 0.8\text{mm}$;石英为他形粒状、填隙粒状,波状消光,大小 $0.1\sim 0.9\text{mm}$;角闪石为柱状,黄绿色,柱面一组解理,横切面两组解理近菱形, $C^\wedge Ng'=21^\circ$,简单双晶可见,大小 $0.2\sim 1.3\text{mm}$;黑云母为片状,红褐色,平行消光,大小 $0.2\sim 1.5\text{mm}$ 。

2.2.2 二根罕山岩体

二根罕山岩体(Gs1663)位于二根罕山西及十五里桥西南一带,出露面积约 8km^2 。在欧浦西黑龙江右岸江堑可见二根罕山岩体侵入中侏罗统二十二站组砂岩中,形成几十米宽的角岩化带,并见有黄铁矿化。岩石类型以中细粒、细粒花岗闪长岩为主,呈岩株状产出。岩石为中细粒、细粒花岗结构,块状构造,由钾长石($15\%\pm$)、斜长石($50\%\pm$)、石英($30\%\pm$)、黑云母($5\%\pm$)组成。钾长石多呈半自形板状;斜长石呈半自形柱状、板状,晶体大小在 $0.3\sim 3\text{mm}$;石英为他形粒状;黑云母呈片状及小片状集合体。

2.2.3 富乐岩体

富乐岩体(GsDG041)位于富乐以东、翠岗至阿木鲁山一带,出露面积 179.1km^2 。在干部河南岸可见富乐岩体侵入下白垩统甘河组粗安岩中。粗安岩边缘变为英安岩,且发生绢云母化和绿泥石化。岩体边缘具宽约 20cm 的冷凝边,岩石颜色变浅,呈浅灰白色,粒径 $<0.1\text{mm}$ 。岩性主要为细粒二长花岗岩,细粒花岗结构,块状构造,局部见花斑结构,岩石由钾长石($40\%\pm$)、斜长石($30\%\pm$)、石英($30\%\pm$)和少量黑云母及副矿物组成。钾长石为自形-半自形,宽板状,条纹构造发育,偶见卡式双晶,有的包含斜长石晶体,粒径大小 1mm 左右;斜长石为自形-半自形,聚片双晶清楚,具绢云母化,粒径大小 1mm 左右;石英为他形粒状,少数与钾长石形成花斑状,多数是齿状镶嵌,粒径大小多在 1mm ;黑云母为片状,有的为细长的片状,局部蚀变被绿泥石代替。副矿物见有磷灰石和磁铁矿。

2.2.4 查班河林场岩体

查班河林场岩体(GsP19B1)主要分布于塔河西南及查班河林场西,出露面积约 36.8km^2 。在铁路路堑见查班河林场岩体侵入上侏罗统满克头鄂博组英安岩中,使英安岩发生角岩化。岩性主要为中粒、中细粒正长花岗岩。岩石呈中粒、中细粒花岗结构,块状构造。岩石主要由钾长石($60\%\pm$)、斜长石($15\%\pm$)、石英($20\%\pm$)和黑云母($5\%\pm$)组成。钾长石为浅肉红色,半自形宽板状,大小 $1\sim 4\text{mm}$;斜长石为灰白色,半自形长板状,大小 $1\sim 3\text{mm}$;石英为烟灰色,他形粒状,大小 $0.5\sim 2\text{mm}$;黑云母为黑色片状,大小 $0.2\sim 1\text{mm}$ 。

2.2.5 峻岭岩体

峻岭岩体(Gs1247)主要分布于图幅东部峻岭南北两侧,出露面积约 7.9km^2 。岩性主要为花岗闪长斑岩,风化面灰白色,新鲜面浅灰绿色,斑状结构,块状构造。斑晶为斜长石($35\%\pm$)、角闪石($3\%\pm$)和黑云母($2\%\pm$)。斜长石为浅灰白色,板柱状,大小 $0.5\sim 2\text{mm}$;角闪石为暗绿色,柱状,大小 $0.5\sim 2\text{mm}$;黑云母为黑色,片状集合体,大小 $0.5\sim 1\text{mm}$ 。基质由微细粒的斜长石、钾长石、石英组成。岩石风化面上见空洞,可能为黑云母风化剥蚀后残留。

3 结果分析

3.1 U-Pb 定年结果

3.1.1 二根罕山岩体(花岗闪长岩)

锆石晶体长约 $350\sim 1100\mu\text{m}$,宽约 $150\sim 500\mu\text{m}$,长宽比多在 $1:1\sim 3:1$ 之间。样品中锆石形态多呈柱状,亦见有少量单锥状、针状,多数可见明显的震荡环带和扇形环带(图2a)。对25个锆石样品点进行了分析,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $130\sim 133\text{Ma}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值除2个点小于 0.8 外,其余均在 $0.8\sim 1.2$ 之间,显示为岩浆锆石特征。25个测点在谐和图上密集成一簇(图3a),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $131\pm 1\text{Ma}$ (MSWD=0.73)。

3.1.2 十五里桥岩体(石英闪长岩)

锆石晶体长约 $50\sim 200\mu\text{m}$,宽约 $30\sim 200\mu\text{m}$,长宽比在 $1:1\sim 2.5:1$ 之间。多数锆石发育有明显的韵律环带,个别锆石具有熔蚀坑或不规则熔蚀状(图2b)。对25个锆石样品点进行了分析,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $127\sim 132\text{Ma}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值除了21号点之外,其余均在 $0.6\sim 2.1$ 之间,显示为岩浆锆石特征。25个测点在谐和图上密集成一簇(图3b),

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb age determinations for quartz diorite

备注: 1. 表中所列误差均为 1σ 误差; 2. 1 ~ 25 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值 $130 \pm 1 \text{ Ma}$

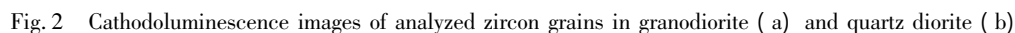


表 2 花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb age determinations for granodiorite

测点号	含量(×10 ⁻⁶)		同位素比值			年龄(Ma)		
	Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±1σ
花岗闪长岩								
1	15	645	0.0205 ±0.0001	0.1366 ±0.0039	0.0483 ±0.0014	131 ±1	130 ±4	112 ±66
2	11	467	0.0206 ±0.0001	0.1368 ±0.0041	0.0482 ±0.0014	131 ±1	130 ±4	111 ±70
3	11	444	0.0207 ±0.0001	0.1351 ±0.0046	0.0474 ±0.0016	132 ±1	129 ±4	71 ±80
4	10	413	0.0208 ±0.0001	0.1368 ±0.0047	0.0477 ±0.0016	133 ±1	130 ±4	85 ±81
5	10	437	0.0206 ±0.0001	0.1370 ±0.0043	0.0482 ±0.0015	132 ±1	130 ±4	108 ±74
6	15	640	0.0206 ±0.0001	0.1369 ±0.0044	0.0483 ±0.0016	131 ±1	130 ±4	113 ±76
7	16	663	0.0205 ±0.0001	0.1363 ±0.0032	0.0483 ±0.0011	131 ±1	130 ±3	112 ±55
8	12	535	0.0205 ±0.0001	0.1360 ±0.0066	0.0482 ±0.0023	131 ±1	130 ±6	109 ±114
9	16	685	0.0206 ±0.0001	0.1367 ±0.0039	0.0482 ±0.0014	131 ±1	130 ±4	111 ±67
10	15	645	0.0205 ±0.0001	0.1365 ±0.0039	0.0483 ±0.0014	131 ±1	130 ±4	112 ±66
11	20	854	0.0204 ±0.0001	0.1354 ±0.0026	0.0481 ±0.0009	130 ±1	129 ±3	104 ±46
12	15	633	0.0205 ±0.0001	0.1364 ±0.0037	0.0483 ±0.0013	131 ±1	130 ±3	114 ±63
13	9	367	0.0207 ±0.0001	0.1360 ±0.0048	0.0477 ±0.0016	132 ±1	129 ±5	84 ±81
14	11	438	0.0203 ±0.0001	0.1368 ±0.0078	0.0489 ±0.0027	130 ±1	130 ±7	142 ±132
15	11	470	0.0205 ±0.0001	0.1353 ±0.0051	0.0479 ±0.0018	131 ±1	129 ±5	96 ±89
16	14	587	0.0204 ±0.0001	0.1370 ±0.0049	0.0486 ±0.0017	130 ±1	130 ±5	130 ±83
17	9	391	0.0204 ±0.0001	0.1363 ±0.0061	0.0485 ±0.0022	130 ±1	130 ±6	123 ±105
18	19	795	0.0205 ±0.0001	0.1370 ±0.0034	0.0485 ±0.0012	131 ±1	130 ±3	122 ±58
19	7	366	0.0205 ±0.0001	0.1368 ±0.0069	0.0484 ±0.0024	131 ±1	130 ±7	119 ±118
20	11	467	0.0204 ±0.0001	0.1371 ±0.0041	0.0488 ±0.0015	130 ±1	130 ±4	136 ±70
21	9	374	0.0207 ±0.0001	0.1367 ±0.0059	0.0479 ±0.0020	132 ±1	130 ±6	97 ±99
22	11	468	0.0205 ±0.0001	0.1368 ±0.0047	0.0484 ±0.0016	131 ±1	130 ±4	119 ±80
23	8	342	0.0205 ±0.0002	0.1364 ±0.0091	0.0483 ±0.0032	131 ±1	130 ±9	112 ±155
24	15	619	0.0205 ±0.0001	0.1362 ±0.0035	0.0481 ±0.0012	131 ±1	130 ±3	106 ±60
25	15	622	0.0204 ±0.0001	0.1361 ±0.0047	0.0484 ±0.0017	130 ±1	130 ±4	117 ±81

备注: 1. 表中所列误差均为 1σ 误差; 2. 1-25 号点²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值 131 ±1Ma

表 3 早白垩世侵入岩主量元素分析结果表(wt%)
Table 3 Analytical results of the major elements in the Early Cretaceous intrusive rocks(wt%)

样品号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	总和
1247b	花岗闪长斑岩	64.24	0.54	14.74	1.88	3.45	0.10	2.88	2.04	3.07	2.89	0.24	3.92	99.99
PI9B1	中细粒正长花岗岩	71.68	0.40	13.53	1.81	0.62	0.03	0.67	1.27	3.58	5.28	0.11	0.60	99.57
DG041	细粒二长花岗岩	69.10	0.35	15.59	2.31	1.08	0.03	0.76	0.81	4.45	4.39	0.17	1.22	100.26
27	细粒石英闪长岩	65.24	0.60	15.11	3.14	2.10	0.07	1.47	2.92	4.52	4.20	0.19	0.34	99.91
1663	中细粒花岗闪长岩	61.32	0.68	15.62	2.42	3.72	0.10	3.17	4.37	4.32	2.71	0.24	1.08	99.74

其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 130 ±1Ma(MSWD = 2.2) 。

本文所测锆石年龄均可见明显的岩浆韵律环带和高的²³²Th/²³⁸U 比值的特征,表明其均属于岩浆成因的锆石,可以代表本期侵入岩的岩浆结晶年龄。综上所述,将本期石英闪长岩-正长花岗岩的侵位时代归为早白垩世。

3.2 主量元素特征

研究区早白垩世侵入岩 SiO₂ 含量为 61.32% ~

71.68% ,属中酸性岩类。Al₂O₃ 含量介于 13.53% ~ 15.62% 之间, TiO₂ (0.35% ~ 0.68%) 和 P₂O₅ (0.11% ~0.24%) 含量较低,全碱(Na₂O + K₂O) 含量介于 5.96% ~ 8.86% 之间。除样品正长花岗岩外, K₂O/Na₂O <1。含铝指数(A/CNK) 介于 0.87 ~ 1.24 之间,但多数 <1.10,总体表现出 I 型花岗岩类特征。根据铝质-准铝质花岗岩判别图解(图 4) 样品落入准铝质和过铝质区。在 K₂O-SiO₂ 图解(图 5) 中,投影点均落于高钾钙碱性区及靠近高钾钙碱性

表4 早白垩世侵入岩微量元素分析结果及特征参数表($\times 10^{-6}$)

Table 4 Analytical results and diagnostic parameters of the trace elements in the Early Cretaceous intrusive rocks($\times 10^{-6}$)

样品号	岩性	Rb	Sr	Ba	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn	Bi	Li	Mo
1247a	花岗闪长斑岩	74.66	737.13	1095.72	5.62	0.46	122.81	4.71		108.95	16.20	14.48	41.41	14.85	76.97	53.92	0.13	25.46	0.51
1247b	花岗闪长斑岩	102.45	259.03	817.44	16.33	1.37	154.27	5.82		47.30	11.92	13.62	22.66	7.96	61.46	55.11	0.47	43.32	0.34
P19B1	中细粒正长花岗岩	231.04	169.82	519.65	8.39	1.49	212.83	8.02	32.08	10.91	6.78	7.07	4.80	25.45	22.55	51.48	0.17	8.52	1.12
DG041	细粒二长花岗岩	125.17	283.37	1105.01	10.77	0.79	161.02	4.23	5.24	6.70	8.80	6.67	5.09	30.20	27.80	103.86	0.08	7.42	0.34
27	细粒石英闪长岩	128.64	657.68	952.38	9.56	0.77	226.01	5.91		14.19	14.03	11.06	20.13	24.75	59.46	78.18	0.13	13.11	0.78
1663	中细粒花岗闪长岩	55.62	804.56	885.34	6.05	0.54	139.99	4.91		131.53	16.43	5.38	54.13	28.54	97.24	58.62	0.08	14.50	0.57

注: 1. 硅酸盐数据采用区间 99.3% ~ 100.7%; 2. 标准矿物计算及稀土配分类型特征参数采用云南省地调院岩石化学计算与图解软件计算

表5 早白垩世侵入岩稀土元素分析结果及特征参数表($\times 10^{-6}$)

Table 5 Analytical results and diagnostic parameters of the rare earth elements in the Early Cretaceous intrusive rocks ($\times 10^{-6}$)

样品号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	Lu
1247a	花岗闪长斑岩	32.96	62.16	7.30	26.31	4.52	1.14	3.06	0.39	2.07	0.37	0.97	0.14	0.99	9.76	0.13
1247b	花岗闪长斑岩	52.63	93.23	10.31	34.41	6.41	1.10	4.68	0.75	4.14	0.85	2.19	0.44	2.88	22.00	0.36
P19B1	中细粒正长花岗岩	55.56	116.83	11.28	36.42	5.64	0.60	4.35	0.56	2.97	0.56	1.58	0.27	1.63	15.32	0.27
DG041	细粒二长花岗岩	43.66	80.39	8.47	29.24	4.52	1.06	3.52	0.44	2.20	0.40	1.12	0.17	1.09	10.71	0.17
27	细粒石英闪长岩	43.03	85.75	9.30	31.32	5.28	0.99	3.62	0.47	2.52	0.48	1.27	0.22	1.48	12.40	0.19
1663	中细粒花岗闪长岩	39.62	76.46	9.06	33.02	5.78	1.29	3.80	0.50	2.59	0.48	1.22	0.20	1.35	12.45	0.18

样品号	岩性	稀土配分类型及成因参数														
		ΣREE	LREE	HREE	LR/HR	Gd-Y	LR/Gd-Y	δEu	δCe	La/Sm	La/Yb	Ce/Yb	Eu/Sm	Sm/Nd	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N
1247a	花岗闪长斑岩	236.38	198.09	16.29	12.16	38.29	5.17	0.59	0.84	8.21	18.28	32.38	0.17	0.19	11.08	7.36
1247b	花岗闪长斑岩	253.85	226.34	12.19	18.57	27.51	8.23	0.36	0.99	9.85	34.08	71.67	0.11	0.15	20.66	16.29
P19B1	中细粒正长花岗岩	187.15	167.33	9.11	18.37	19.82	8.44	0.78	0.88	9.66	40.02	73.7	0.23	0.15	24.27	16.76
DG041	细粒二长花岗岩	198.31	175.67	10.25	17.14	22.65	7.76	0.66	0.91	8.15	29	57.78	0.19	0.17	17.57	13.13
27	细粒石英闪长岩	187.98	165.22	10.31	16.02	22.76	7.26	0.79	0.86	6.86	29.31	56.57	0.22	0.17	17.76	12.85
1663	中细粒花岗闪长岩	152.28	134.39	8.13	16.54	17.89	7.51	0.88	0.86	7.28	33.45	63.08	0.25	0.17	20.26	14.33

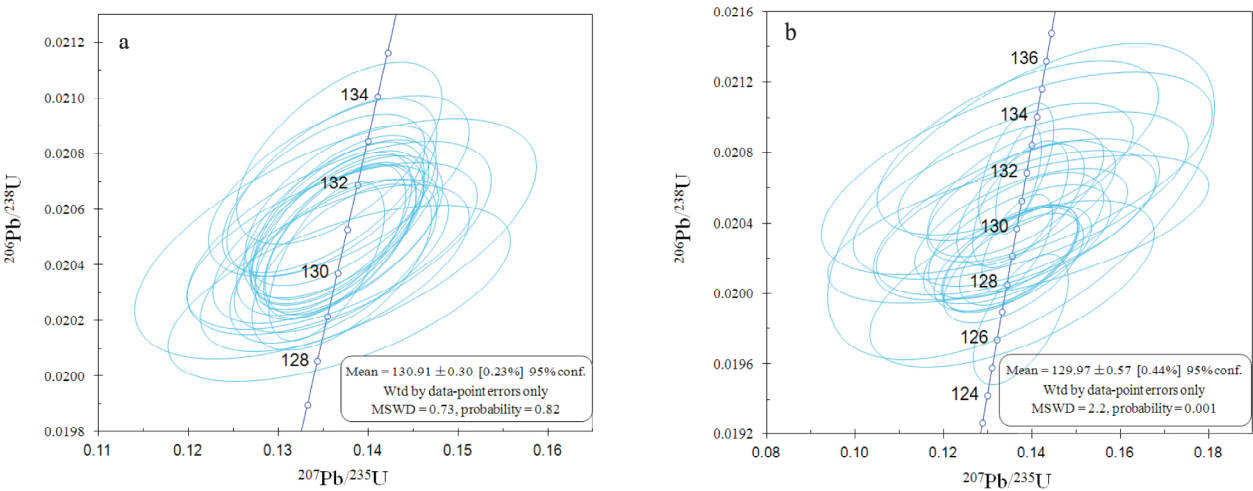


图3 花岗闪长岩 (a) 和石英闪长岩 (b) 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.3 Concordia plots of zircon U-Pb age data for granodiorite (a) and quartz diorite (b)

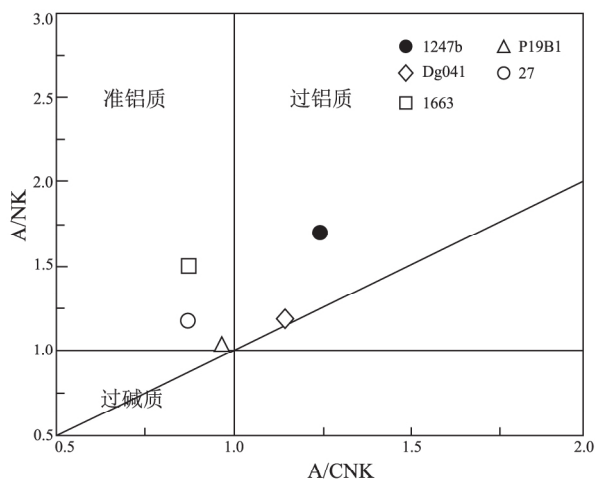
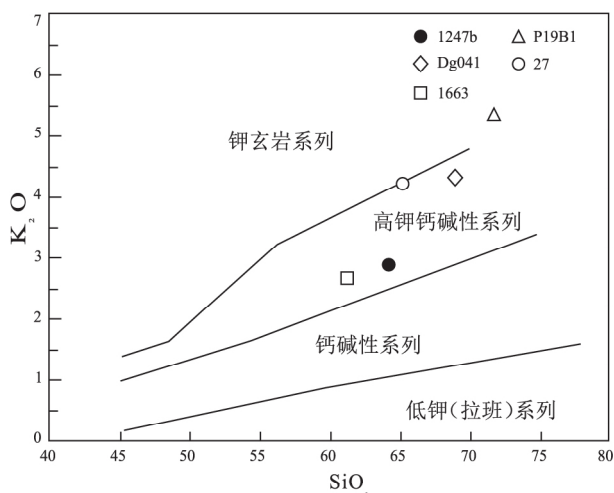


图4 铝质-准铝质花岗岩判别图解

Fig. 4 Discrimination diagram for aluminous-metaluminous granitic rocks

图5 SiO_2 - K_2O 图解Fig. 5 SiO_2 vs. K_2O diagram for granitic rocks

系列与钾玄岩系列界线处。

3.3 稀土元素特征

稀土元素总量 ΣREE 为 $(152.28 \sim 253.85) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素 (LREE) 为 $(134.39 \sim 226.34) \times 10^{-6}$, 重稀土元素 (HREE) 为 $(8.13 \sim 16.29) \times 10^{-6}$ 。经笔者研究发现, 岩石稀土元素明显可以分成两类: 高 Sr 低 Yb 型侵入岩和低 Sr 高 Yb 型侵入岩。高 Sr 低 Yb 型侵入岩为花岗闪长斑岩、石英闪长岩和花岗闪长岩; 低 Sr 高 Yb 型侵入岩为花岗闪长斑岩、正长花岗岩和二长花岗岩。高 Sr 低 Yb 型侵入岩具有埃达克岩的特征。按照 Defant 给出的定义^[31], 埃达克岩 $\text{SiO}_2 > 56\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$ 、 $\text{MgO} < 3\%$ 、 $\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Y} < 18 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Yb} < 1.9 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sr}/\text{Y} > 40$ 。本次岩石样品与原始定义的埃达克岩

不同, 原始定义的埃达克岩属于钠质火成岩。本区岩石高 Sr 低 Yb 型侵入岩属于钾质火成岩, 与中国学者厘定的富钾“C 型埃达克岩”相似。中国东部大部分埃达克岩属于该类, 起源于加厚下地壳的熔融^[33-34], 其具有富集 LREE 和亏损 HREE 的特征, $\text{LREE}/\text{HREE} > 10$, 反映稀土元素分异程度较高, $(\text{La}/\text{Yb}) > 10$, 具有较弱的负 Eu 异常 (图 6)。

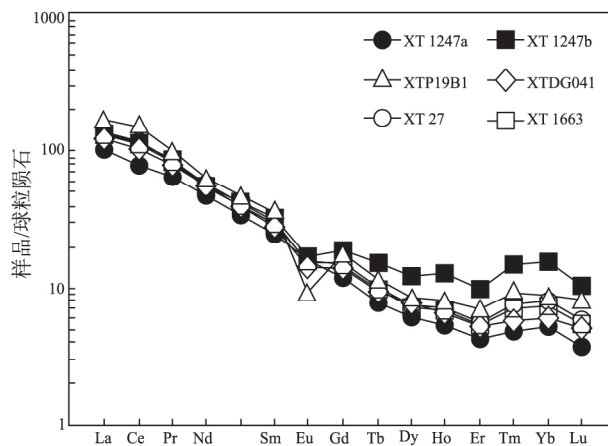


图6 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for granitic rocks

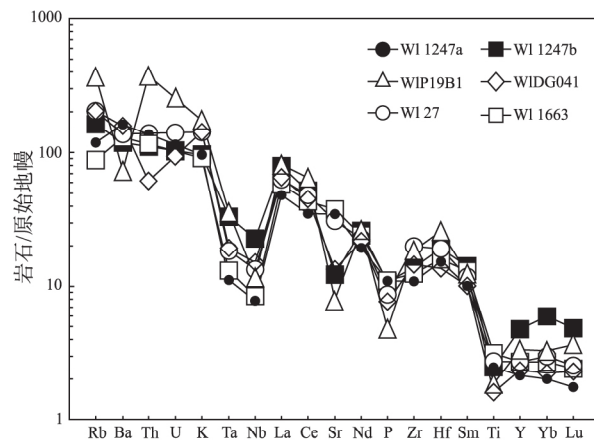


图7 微量元素原始地幔标准化图解

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element distribution patterns for granitic rocks

3.4 微量元素特征

从微量元素蛛网图 (图 7) 中可以看出, 整体形态 K、Rb、Ba、Th 构成上隆形状。P、Ti 略显亏损, 指示物源可能与地壳有关。高 Sr 低 Yb 型和低 Sr 高 Yb 型侵入岩的微量元素蛛网图性质相似, 但少量元素的亏损和富集程度略有差异。高 Sr 低 Yb 型侵入岩的 Nb、Ta 的负异常和 Sr 的正异常比低 Sr 高 Yb 型侵入岩更为明显。高 Sr 低 Yb 型侵入岩的 Y 含

量在 $9.76 \sim 12.45 \mu\text{g/g}$ 之间。低 Sr 高 Yb 型侵入岩的 Y 含量在 $10.71 \sim 22.00 \mu\text{g/g}$ 之间。因此, 这些高 Sr 低 Yb 型侵入岩具有很高的 Sr/Y 比值, 介于 $53.03 \sim 75.52$ 之间。高 Sr 低 Yb 型侵入岩 Cr 和 Ni 的含量高, 除了石英闪长岩的 Cr 为 $14.19 \mu\text{g/g}$ 外, 其余 Cr 介于 $108.95 \sim 131.53 \mu\text{g/g}$ 。Ni 含量介于 $18.13 \sim 54.13 \mu\text{g/g}$ 。高 Sr 低 Yb 型侵入岩 Cr 和 Ni 的含量高, 指示壳幔岩浆的相互作用。

4 讨论

4.1 岩石的形成时代

本文通过对大兴安岭东北部塔河地区的 5 个代表性岩体进行锆石 U-Pb 同位素测年和地球化学特征分析, 结果表明, 十五里桥岩体的锆石 U-Pb 年龄为 $130 \pm 1 \text{Ma}$ (MSWD = 2.2), 二根罕山岩体的锆石 U-Pb 年龄为 $131 \pm 1 \text{Ma}$ (MSWD = 0.73)。本文所测的锆石形态多呈柱状, 多数可见细密的生长韵律环带, 具有岩浆锆石特征, 同位素分析数据均位于谐和线上及其附近, 所以上述 5 个岩体的侵入时代均为早白垩世。葛文春 (2007) 曾在本研究区研究过早古生代花岗岩锆石年龄、Hf 同位素特征及地质意义, 并限定了研究区早古生代花岗岩浆活动的时限^[10]。隋振民 (2007) 曾在本研究区讨论过侏罗纪花岗质岩石锆石年龄、地球化学特征及成因, 在研究区发现“C 型埃达克岩”, 并认为岩石形成与古太平洋板块的俯冲作用有关^[13]。武广 (2008) 曾在大兴安岭北端晚侏罗世龙沟河岩体中发现埃达克质岩石, 其形成与蒙古-鄂霍次克造山带有一致的时空关系并且与本文获得的结果相一致^[40]。前人曾在大兴安岭北部地区侏罗系发现过埃达克质岩石, 但是在大兴安岭北部地区下白垩统发现埃达克质岩石还属首次。

4.2 成岩构造背景

大兴安岭东北部早白垩世侵入岩主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长斑岩均属于高钾钙碱性岩系, 与后碰撞阶段形成的高钾钙碱性花岗岩 (KCG) 岩石组合相一致^[34-36]。在 Y-Nb 判别图解 (图 8) 中, 侵入岩落入火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩区; 在 R1-R2 判别图 (图 9) 中, 投影点主要落在晚造山期花岗岩和板块碰撞后隆起期花岗岩。花岗岩类构造环境判别图表明, 研究区早白垩世侵入岩形成于同碰撞到碰撞后抬升阶段。

区域构造研究表明, 在古亚洲洋在二叠纪—三

叠纪闭合, 导致蒙古地块的西缘与西伯利亚地台在中蒙古地区碰撞拼贴^[37-39]。在早—中侏罗世, 蒙古—中朝地块与西伯利亚地块之间的蒙古-鄂霍次克洋自西向东剪刀式闭合, 形成蒙古-鄂霍次克造山带; 在侏罗纪晚期, 形成了 NNW-SSE 方向的挤压应力场, 在研究区形成了平缓的斜歪褶皱和逆冲断层, 使整个研究区处于隆升造山阶段; 在早白垩世继而发生的走滑-逆冲运动使东北地区地壳缩短、加厚^[23-24, 40], 并在研究区形成埃达克质岩石。

综上所述, 大兴安岭东北部塔河地区早白垩世侵入岩形成与蒙古-鄂霍次克造山带具有一定的时空关系。通过对本区早白垩世侵入岩形成于同碰撞到碰撞后抬升阶段的研究表明, 岩石形成和蒙古-鄂霍次克海洋盆自西向东的剪切式收缩闭合作用, 均可能与蒙古-鄂霍次克造山带陆-陆碰撞导致的地壳加厚作用有关。

4.3 高 Sr 低 Yb 型花岗岩成因的地球化学制约

研究区早白垩世高 Sr 低 Yb 型侵入岩主要为花岗闪长斑岩、石英闪长岩和花岗闪长岩, 具有与埃达克岩相似的地球化学特点。埃达克质岩石的成因主要有 3 种类型: (1) 俯冲洋壳的熔融^[31]; (2) 增厚的下地壳铁镁质岩石的熔融^[41-44]; (3) 拆沉下地壳的熔融^[45-48]。

与俯冲洋壳有关的埃达克岩是钠质火成岩, 而本区岩石属于钾质火成岩, 与中国学者厘定的富钾“C 型埃达克岩”相似, 起源于加厚下地壳的熔融^[32-33]。早白垩世高 Sr 低 Yb 型侵入岩的形成与古亚洲洋和滨太平洋的俯冲无关, 而且这也与大部分学者认为的研究区古亚洲洋在二叠纪—三叠纪闭合^[37-39]以及在白垩纪中晚期受到古太平洋俯冲作用的影响相符^[23]。本区早白垩世高 Sr 低 Yb 型侵入岩具有较高的 Cr 和 Ni 含量, 指示其受到地幔物质的混染, 表明早白垩世高 Sr 低 Yb 型侵入岩可能形成于加厚下地壳拆沉、熔融, 并受到地幔物质的混染, 不同元素在矿物和岩浆间的分配系数, 以及矿物的稳定性和压力之间的关系是导致岩浆成分差异的重要原因^[49-50]。本区高 Sr 低 Yb 型和低 Sr 高 Yb 型侵入岩具有相似的主量元素和微量元素含量以及一致的变化趋势。尽管关于埃达克岩的研究还存在争议, 但是实验岩石学的研究表明, 埃达克岩形成于较高压力已是人们的共识^[51-53]。镁铁质岩石在大于 1.2GPa 的压力下, 由于斜长石的不稳定转变为石榴石, Sr 对于石榴石是强不相容元素, 而 Yb 对于石榴石是强相容元素。因此, 与石榴

石相平衡的花岗岩表现为高 Sr 低 Yb 的特征,形成于高压环境^[52]。在低压环境下,存在斜长石和角闪石, Sr 对于斜长石是强相容元素,对于 Yb 是强不相容元素,所以在低压环境下表现出低 Sr 高 Yb 的特征^[54]。因此,研究区的高 Sr 低 Yb 型和低 Sr 高 Yb 型侵入岩只是形成的压力不同,前者形成于高压环境,后者形成于较低压的中地壳。

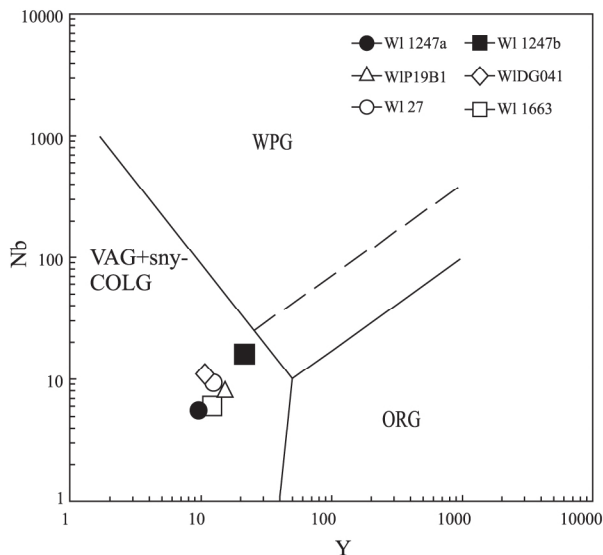


图8 Y-Nb 判别图^[55]

WPG. 板内花岗岩; syn-COLG. 同碰撞花岗岩; ORG. 洋背花岗岩

Fig.8 Y vs. Nb diagram for granitic rocks (after Pearce et al., 1984)

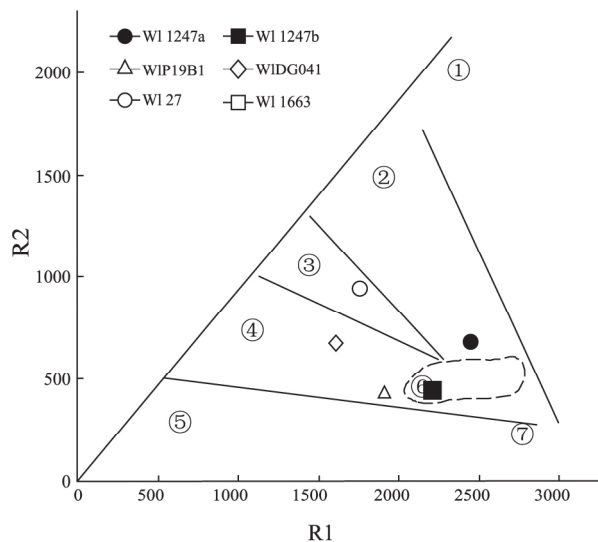


图9 R1-R2图解^[56]

①地幔斜长花岗岩; ②破坏性活动板块边缘(板块碰撞前)花岗岩; ③板块碰撞后隆起期花岗岩; ④晚造山期花岗岩; ⑤非造山期 A 型花岗岩; ⑥同碰撞(S 型)花岗岩; ⑦造山期后 A 型花岗岩

Fig.9 R1 vs. R2 diagram for granitic rocks (after Bachelier et al., 1984)

5 结论

(1) 大兴安岭东北部塔河地区早白垩世侵入岩的主要岩性有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩和花岗闪长斑岩。

(2) 大兴安岭东北部塔河地区早白垩世侵入岩锆石 U-Pb 年龄值为 131 ± 1 Ma 和 130 ± 1 Ma。

(3) 侵入岩形成于同碰撞到碰撞后抬升阶段,与蒙古-鄂霍次克洋洋盆自西向东的剪切式收缩闭合作用有关,可能形成于蒙古-鄂霍次克造山带陆-陆碰撞导致的下地壳加厚作用。

(4) 早白垩世侵入岩地球化学特征表现为高 Sr 低 Yb 型侵入岩和低 Sr 高 Yb 型侵入岩,表明起源于地壳的不同深度。高 Sr 低 Yb 型花岗岩具有类似埃达克岩的地球化学特征。

致谢 成文过程中得到了中国地质大学(北京)狄永军的审阅并提出了宝贵意见;审稿人对文章提出了有益的修改意见,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 吴福元,李献华,杨进辉,等.花岗岩成因研究的若干问题[J].岩石学报,2007,23(6):1217-1238.
- [2] 周若.花岗岩混合作用[J].地学前缘,1994,1(1-2):87-97.
- [3] 肖庆辉,邱瑞照,邓晋福,等.中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J].中国地质,2005,32(3):343-352.
- [4] CHAPPELL B W, WHITE A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh, 1992, 83(1-2 (Second Hutton Symposium: The Origin of Granites and Related Rocks)): 1-26.
- [5] 肖庆辉,邓晋福,邱瑞照,等.花岗岩类与大陆地壳生长初探——以中国典型造山带花岗岩类岩石的形成为例[J].中国地质,2009,36(3):594-622.
- [6] 刘军,毛景文,武广,等.大兴安岭北部岔路口斑岩钼矿床岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质学报,2013,87(2):208-226.
- [7] 褚少雄,刘建明,徐九华,等.黑龙江三矿沟铁铜矿床花岗闪长岩锆石 U-Pb 定年、岩石成因及构造意义[J].岩石学报,2012,28(2):433-450.
- [8] 葛文春,吴福元,周长勇,等.大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约[J].科学通报,2005,50(12):1239-1247.
- [9] 周长勇,吴福元,葛文春,等.大兴安岭北部塔河堆晶辉长岩体的形成时代、地球化学特征及其成因[J].岩石学报,2005,21(3):763-775.
- [10] 葛文春,隋振民,吴福元,等.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,

- 2007, 23(2): 423–440.
- [11] 表尚虎, 郝卫政, 周兴福, 等. 大兴安岭北部锆石 U-Pb 年龄对额尔古纳地块构造归属的制约[J]. 地质学报, 2012, 86(8): 1262–1272.
- [12] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 339–353.
- [13] 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 461–480.
- [14] 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部哈拉巴奇花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其成因[J]. 世界地质, 2006, 25(3): 229–236.
- [15] 吴福元, 孙德有, 林强, 等. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 181–189.
- [16] 林强, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 403–412.
- [17] 林强, 葛文春, 曹林, 等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 208–222.
- [18] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩与玄武岩的成因联系[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4): 322–328.
- [19] 李竞妍, 郭锋, 李超文, 等. 东北地区晚古生代-中生代 I 型和 A 型花岗岩 Nd 同位素变化趋势及其构造意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(7): 1995–2008.
- [20] 孟凡超, 刘嘉麒, 崔岩, 等. 中国东北地区中生代构造体制的转变: 来自火山岩时空分布与岩石组合的制约[J]. 岩石学报, 2014, 30(12): 3569–3586.
- [21] 李仰春, 张克信, 吴淦国, 等. 大一小兴安岭接合部早一中侏罗世侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及成因[J]. 地质通报, 2013, 32(5): 717–729.
- [22] 任纪舜, 陈延恩, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 217.
- [23] 赵越, 杨振宇, 冯醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 2: 105–119.
- [24] 李锦轶, 莫申国, 和政军, 等. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 157–168.
- [25] 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 2005, 50(20): 96–106.
- [26] 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 额尔古纳成矿带西北部金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2227–2240.
- [27] ZHANG J H, GE W C, WU F Y, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, Northeastern China [J]. Lithos, 2008, 102(1–2): 138–157.
- [28] 张玉涛, 张连昌, 英基丰, 等. 大兴安岭北段塔河地区早白垩世火山岩地球化学及源区特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2811–2822.
- [29] 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 王晰, 柳小明. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3083–3094.
- [30] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 2009, 29: 600–601.
- [31] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [J]. Nature, 1990, 347: 662–665.
- [32] 张旗. 埃达克岩研究的回顾和前瞻[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 32–39.
- [33] 汪洋, 程素华. “C 型埃达克岩”: 一个基于误解的概念[J]? 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(3): 284–292.
- [34] LIEGEOIS J P. Some words on the post-collisional magmatism [J]. Lithos, 1998, 45: 15–17.
- [35] SYLVESTER P J. Post-collision strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 1998, 45: 29–44.
- [36] SEARLE M P, PARRISH R R, HODGES K V, et al. Shisha Pangma leucogranite, South Tibetan Himalaya: field relations, geochemistry, age, origin, and emplacement [J]. Geology, 1997, 105: 295–317.
- [37] 王五力, 郭胜哲. 中国东北古亚洲与古太平洋构造域演化与转换[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 27–34.
- [38] 陈斌, 赵国春, SIMON W. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 361–367.
- [39] SENGOR A M C, NATAL B A, BURTMAN V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, 363: 299–307.
- [40] 武广, 陈衍景, 孙丰月, 等. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 899–910.
- [41] 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 新疆北部晚古生代的底侵作用——来自橄榄玄粗岩与埃达克岩的证据[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 606–619.
- [42] 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236–244.
- [43] 熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因: Nd 和 Sr 同位素组成的限制[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 514–522.
- [44] ATHERTON M P, PERFORO N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. Nature, 1993, 362: 144–146.
- [45] XU J F, SHINJO R, DEFANT M J. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rock in the Nigzhen area of east China: partial melting of delaminated lower continental crust [J]? Geology, 2002, 30(12): 1111–1114.
- [46] 王强, 许继峰, 赵振华. 强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩(或埃达克质岩)与 Cu-Au 成矿作用[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 561–572.
- [47] 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 鄂东南铜山口、殷祖埃达克质(adakitic)侵入岩的地球化学特征对比: (拆沉)下地壳熔融与斑岩铜矿的成因[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 351–360.
- [48] GUO F, FAN W M, WANG Y J, et al. Origin of early Cretaceous calc-alkaline lamprophyres from the Sulu orogen in eastern China: implications for enrichment processes beneath

- continental collisional belt [J]. *Lithos* 2004 ,78(3) : 291 – 305.
- [49] RAPP R P , WATSON E B , MILLER C F. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities [J]. *Precambrian Research* ,1991 ,51(1 – 4) : 1 – 25.
- [50] RAPP R P , WATSON E B. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling [J]. *Petrology* ,1995 ,36(4s) : 981 – 931.
- [51] 张旗,王焰,李承东,等. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义 [J]. *岩石学报* 2006 ,22(9) : 2249 – 2269.
- [52] MARTIN H , SMITHIES R H , RAPP R , et al. An overview of adakite ,tonalite-trondhjemite-granodiorite(TTG) , and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution [J]. *Lithos* 2005 ,79(1 – 2) : 1 – 24.
- [53] 肖龙, RAPP R P ,许继峰. 深部过程对埃达克质岩石成分的制约 [J]. *岩石学报* 2004 ,20(2) : 219 – 225.
- [54] 张旗,李承东,王焰,等. 中国东部中生代高 Sr 低 Yb 和低 Sr 高 Yb 型花岗岩: 对比及其地质意义 [J]. *岩石学报* 2005 ,21(6) : 1527 – 1537.
- [55] PEARCE J A , HARRIS N B W , TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology* ,1984 ,25(4) : 956 – 983.
- [56] BACHELOR R A AND BOWDEN P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. *Chemical Geology* ,1984 ,48(1 – 4) : 43 – 55.

Chronology , geochemistry and geological significance of the Early Cretaceous intrusive rocks from the Tahe region , northeastern China

NIU Yan-hong¹ , LIU Yuan¹ , ZHOU Zhi-guang² , NIU Wen-zhi² , LIU Chang-feng² , ZHAO Xiao-qi² , DAI Peng-fei² , WANG Zhi-qiang³

(1. *Qiqihar Branch , Heilongjiang Institute of Geological Survey , Harbin 150036 , Heilongjiang , China*; 2. *China University of Geosciences , Beijing 100083 , China*; 3. *China Petroleum Pipeline Engineering Corporation , Langfang 065000 , Hebei , China*)

Abstract: The Phanerozoic granites occur on a wide range of scales in northeastern China. The emphasis in this study is placed on the Early Cretaceous intrusive rocks from the Tahe region , NE Dahingganling region , where the research of the intrusive rocks may be highly helpful to the understanding of Mesozoic magmatic evolution and tectonic settings. The intrusive rocks in this region consist dominantly of quartz diorite , granodiorite , monzogranite , syenogranite and granodioritic porphyry. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yields the age determinations of 131 ± 1 Ma (MSWD = 0. 73) and 130 ± 1 Ma (MSWD = 2. 2) for granodiorite and quartz diorite , respectively. The intrusive rocks cited above are enriched in SiO_2 (61. 32% – 71. 68%) and Al_2O_3 (13. 53% – 15. 62%) , and have the ΣREE values between $152. 28 \times 10^{-6}$ and $253. 85 \times 10^{-6}$, indicating the metaluminous or peraluminous high-K calc-alkaline granitic rocks. Geochemically , these granitic rocks may be classified into two types: high-Sr and low-Yb , and low-Sr and high-Yb types originated from different depths of the Earth's crust. It is inferred that the Early Cretaceous intrusive rocks in the study area were created by the processes of gradually eastward shear closure of the Mongolia-Ochotsk Sea basin , and probably related to the thickening of the lower crust caused by the continent-continent collision along the Mongolia-Ochotsk orogenic belt.

Key words: Early Cretaceous intrusive rock; Mongolia-Ochotsk orogenic belt; C-type adakite; zircon U-Pb dating; geochemistry