

内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义

张万益¹, 聂凤军¹, 江思宏¹, 刘妍¹, 许东青¹, 郭灵俊²

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 内蒙古查干敖包石英闪长岩位于西伯利亚板块南缘白音乌拉-东乌珠穆沁旗碱性花岗岩带东部, 在时空分布上与查干敖包砂卡岩型铁-锌矿床关系密切。石英闪长岩中的岩浆结晶锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果显示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $237 \pm 6 \text{ Ma}$ (1σ), $\text{MSWD} = 0.63$ 。根据野外地质调查和室内研究资料, 并结合上述同位素年龄数据可以推测查干敖包石英闪长岩和铁-锌矿床形成于印支期, 它们同属兴蒙造山带碰撞后拉伸构造环境的产物。

关键词: 石英闪长岩; 锆石 SHRIMP U-Pb 测年; 兴蒙造山带; 印支期; 查干敖包; 内蒙古

中图分类号: P597+.3; P588.12+2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)03-0177-08

Zircon SHRIMP U-Pb age of quartz diorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance

ZHANG Wan-yi¹, NIE Feng-jun¹, JIANG Si-hong¹, LIU Yan¹, XU Dong-qing¹ and GUO Ling-jun²

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Inner Mongolia Geological Survey, Hohhot 010020, China)

Abstract: Located in the eastern part of the Baiyinwula-Dong Ujimqin Banner alkali granite belt on the southern edge of the Siberian plate, the Qagan Obo quartz diorite stock has an intimate temporal and spatial relationship with the Qagan Obo Fe-Zn deposit. SHRIMP magmatic zircon U-Pb dating of quartz diorite stock yields an age of $237 \pm 6 \text{ Ma}$ (1σ), with the MSWD value being 0.63. Based on field geological investigation and laboratory data in combination with the result of zircon dating, it is suggested that the quartz diorite and its associated Fe-Zn ore bodies were formed in Indosinian period. Both of them were formed in a post-collision extensional tectonic setting within the Xing'anling-Mongolia orogenic belt.

Key words: quartz diorite; zircon SHRIMP U-Pb dating; Xing'anling-Mongolia orogenic belt; Indosinian; Qagan Obo; Inner Mongolia

兴蒙造山带位于西伯利亚板块、华北板块和太平洋板块之间, 被认为是目前已知发展历史最长、构造岩浆活动最复杂的一条巨型造山带(任纪舜, 1991)。长期以来, 许多学者对造山带范围内广泛分布的古生代-中生代花岗岩的形成机制、地球动力学背景、成岩物质来源及其与金属成矿关系等做过深

入研究, 取得了许多重要成果, 大部分学者都认为本区以海西期和燕山期花岗岩最为发育并且与金属矿床具有密切时空分布关系(赵一鸣等, 1994; 洪大卫等, 2003; 聂凤军等, 2004; 金岩等, 2005)。对兴蒙造山带花岗岩类侵入岩的岩石学、地球化学和同位素年代学的研究, 特别是对西伯利亚板块南缘白音乌

收稿日期: 2007-11-30; 修订日期: 2008-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40573025)

作者简介: 张万益(1974-), 男, 博士研究生, 主要从事地质找矿及矿床学研究工作, E-mail: zhwy26225@sina.com。

拉-东乌珠穆沁旗一带大面积分布的碱性花岗岩的研究,对于探讨本区板块构造运动历史中的地球动力学过程提供了重要的科学依据(洪大卫等,1994)。本文所采样品的查干敖包岩体位于白音乌拉-东乌珠穆沁旗碱性岩带东部,该岩体与查干敖包铁-锌矿床具有密切时空分布关系。由于缺少精确测年数据,前人推测查干敖包岩体形成于燕山期(内蒙古自治区地质局,1978^①;赵一鸣等,1994;金岩等,2005)。本文在前人工作的基础上,重新厘定了查干敖包岩体的形成时代,这对探讨矿床的成矿地质背景和研究区早中生代的构造演化具有重要的意义。

1 地质背景

查干敖包石英闪长岩体位于西伯利亚板块东南缘查干敖包-奥尤特-朝不楞早古生代构造-岩浆岩带,其东侧就是西伯利亚板块与华北地台的对接带贺根山-索伦山深断裂(聂凤军等,2007;张万益等,2007)。区域范围内出露的地层有中奥陶统、上志留统、泥盆系、下二叠统、侏罗系和白垩纪火山-沉积岩以及第三纪和第四纪沉积物。

区域范围内岩浆岩分布广泛,其中以海西期和燕山期花岗岩最为发育,并且与金属矿床具有密切空间分布关系(赵一鸣等,1994;洪大卫等,2003;聂凤军等,2004;金岩等,2005)。海西期侵入岩大多呈岩滴状侵入于中泥盆统中或被下侏罗统火山岩覆盖。相比之下,燕山期岩浆活动在本区表现最为强烈,侵入岩主要呈岩株、岩基状侵位于朝不楞北东向复背斜和查干敖包北东向复背斜的轴部或两翼,代表性侵入岩主要为深成相的富钾、碱性偏高的钙碱性花岗质岩石(聂凤军等,2004)。与海西期和燕山期侵入岩相比,印支期侵入岩在本区分布范围有限,只是零星出露,在以往的地质找矿及科研工作中没有得到相应重视。

区内主干断裂为北东向贺根山-索伦山深断裂和查干敖包-东乌旗深大断裂。褶皱构造发育,褶皱轴向与区域主干断裂一致,表现为一系列的北东向复式背斜和向斜。

查干敖包岩体是一个与查干敖包矽卡岩型铁-锌矿床有关的石英闪长岩株,该岩体位于查干敖包铁-锌矿床的东北侧(图1)。在查干敖包石英闪长岩

的东部和西部,见有后期细粒花岗岩脉和花岗闪长岩脉侵入。岩体东西长约10 km,南北宽约6 km,面积约60 km²,呈岩株状侵位于下二叠统宝力格组和中奥陶统汗乌拉组火山-沉积岩中,其上被上侏罗统布拉根哈达组和查干诺尔组火山岩覆盖。在岩体和中奥陶统汗乌拉组火山-沉积岩的接触部位,往往形成含铁-锌矿层及锰矿层的矽卡岩带。矽卡岩带的形态和产状受构造和接触带特征控制,铁-锌矿体主要呈似层状、条带状和透镜状分布于矽卡岩带中。

2 岩石学特征

查干敖包石英闪长岩由于地表岩石风化较强,本次用于SHRIMP测试的样品均采自查干敖包铁-锌矿区北部(图1)的钻孔深部。岩石样品非常新鲜,呈灰白略带浅肉红色。代表性岩石样品镜下观察表明,岩石呈似斑状结构,基质具半自形-他形细粒结构。岩石矿物组成主要有斜长石(大部分为钠长石)(≥70%)、普通角闪石(15%~20%)和石英(5%),此外,还见有楣石(<1%)、磁铁矿(1%~2%)、磷灰石(<1%)、锆石(<1%)以及少量绿帘石、绿泥石等。斑晶以自形板状、宽板状斜长石为主,自形长柱状、柱状普通角闪石次之,斑晶大小一般在1~2 mm之间,约占岩石总量的30%~40%。基质主要由他形-半自形细粒斜长石和普通角闪石组成,粒度较细,一般在0.1~0.3 mm之间。系统的岩石地球化学研究表明,6件样品SiO₂含量(质量分数,下同)为60.70%~62.54%,平均61.76%[(K₂O+Na₂O)为9.18%~10.48%,平均值为9.74%,其中K₂O<Na₂O。在SiO₂-K₂O判别图上,样品均属钾玄岩系列。里特曼组合指数σ值为4.31~6.13,平均5.09,属碱性岩系列。碱度率AR=2.63~3.21[AR=(Al₂O₃+CaO+K₂O+Na₂O)/(Al₂O₃+CaO-K₂O-Na₂O)](Wright,1969),在AR-SiO₂图上,样品均在碱性岩区。

3 样品处理和分析方法

将野外采集的石英闪长岩岩心样品(编号为CA7)破碎至80~120目,用水淘洗去粉尘后,先用磁铁除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液选出锆石,

① 内蒙古自治区地质局. 1978. 1:20万区域地质调查报告(额仁高毕幅、沙尔沟特幅). 1~85.

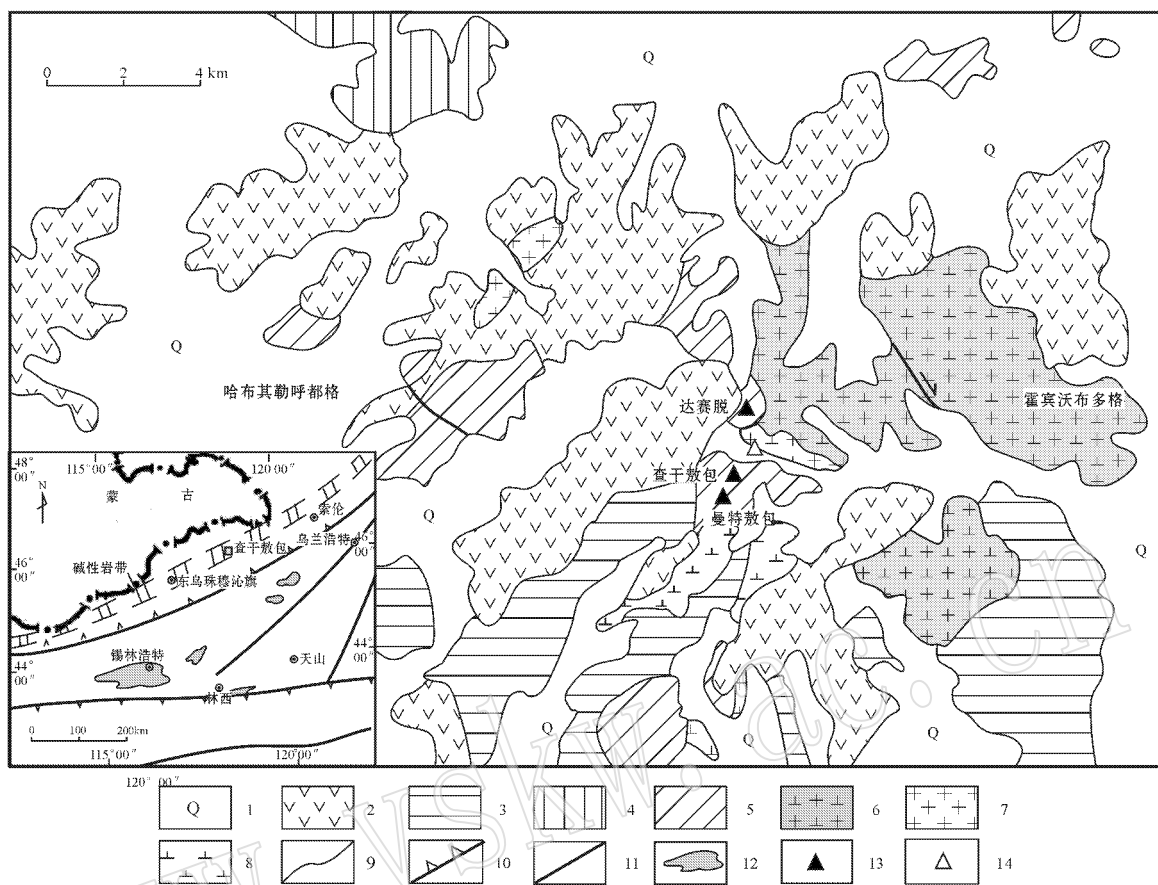


图 1 查干敖包铁-锌矿区地质简图 [角图据洪大卫等(1994) 聂凤军等(2007) 修改]

Fig. 1 Simplified geological map of the Qagan Obo Fe-Zn ore district (map located corner modified from Hong Dawei *et al.*, 1994; Nie Fengjun *et al.*, 2007)

1—第四系；2—上侏罗统布拉根哈达组和查干诺尔组火山岩；3—下二叠统宝力格组斑点板岩、火山硬砂岩、英安质凝灰熔岩；4—上泥盆统安格尔音乌拉组变质粉砂岩和泥质板岩；5—中奥陶统汗乌拉组细碧角板岩、斑点板岩、砂卡岩夹铁-锌矿层及锰矿层；6—石英闪长岩；7—花岗斑岩脉；8—闪长玢岩；9—地质界线；10—板块缝合线；11—断层；12—前寒武纪中间地块；13—矿床(点)位置；14—采样位置

1—Quaternary; 2—volcanic rocks of Upper Jurassic Bulagenhada and Chaganuoer Formation; 3—spotted slate, volcanic greywacke and dacitic tufflava of Lower Permian Baolige Formation; 4—metasiltstone and argillite of Upper Devonian Angeryinwula Formation; 5—splite-keratophyre, spotted slate and skarn intercalated with iron-zinc and manganese ore beds of Middle Ordovician Hanwula Formation; 6—quartz diorite; 7—granite porphyry vein; 8—dioritic porphyrite; 9—geological boundary; 10—suture; 11—fault; 12—Precambrian intermediate massif; 13—location of ore deposit; 14—sampling location

最后在双目镜下挑纯。将锆石样品和实验室标样置于环氧树脂内，研磨至锆石露出一半，抛光、清洗制成样品靶，以用于透反射和阴极发光研究及 SHRIMP U-Pb 法年龄测定。阴极发光照像和 SHRIMP U-Pb 法年龄测定在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成。锆石 U-Pb 分析选点以透反射和阴极发光图像为依据，原则上选择颗粒较大、自形、清晰锆石的无包体、无裂纹区进行分析。SHRIMP 分析的详细流程和原理参见 Williams 和 Claesson (1987) 和宋彪等(2002, 2006) 的文献。

一次离子流强度约 7.4 nA，加速电压约 10 kV，样品靶上的离子束斑直径约 25~30 μm，质量分辨率约 5 000(1% 峰高)。应用澳大利亚国家地质标准局标准锆石 TEM(417 Ma) 进行年龄校正，并用产于斯里兰卡的宝石级标准锆石 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238×10^{-6} , Claoue-Long *et al.*, 1995) 标定待测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理采用 Ludwig SQUID 1.0(Ludwig, 2001) 及 ISOPLOT 3.0 程序(Ludwig, 2003)。

4 测试结果

石英闪长岩中的锆石大都呈短柱状或长柱状, 清晰透明, 自形, 颗粒大小一般 $100 \sim 200 \mu\text{m}$, 长宽比一般小于 1.5, 个别达 2 以上。对 100 多颗锆石进行阴极发光照像, 均未发现有明显老的锆石核, 照片

显示有明显岩浆振荡的韵律环带(图 2)。8 个锆石的 9 个 SHRIMP 测试结果列于表 1。采用普通铅 ^{204}Pb 校正, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围为 $227.3 \pm 9.9 \text{ Ma} \sim 254.0 \pm 13 \text{ Ma}$, 在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄图解上数据点分布在谐和线上及其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $237 \pm 6 \text{ Ma}$, $\text{MSDW} = 0.63$ (图 3)。



图 2 查干敖包石英闪长岩中锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescent images of some zircon grains from Qagan Obo quartz diorite

表 1 查干敖包石英闪长岩中锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of Qagan Obo quartz diorite stock

测点号	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm \%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm \%$	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{\text{年龄}/\text{Ma}}$
		$\omega_B/10^{-6}$										
CG7-1.0	3.85	431	827	14.20	1.98	0.036 9	2.7	0.20	30	0.039	30	233.5 ± 6.3
CG7-2.0	6.41	367	799	12.50	2.25	0.037 2	3.1	0.27	34	0.053	34	235.2 ± 7.3
CG7-3.0	11.06	262	329	9.08	1.30	0.035 9	4.4	-	-	-	-	227.3 ± 9.9
CG7-4.0	12.72	165	173	6.54	1.08	0.040 2	5.3	0.40	69	0.072	69	254.0 ± 13.0
CG7-5.0	3.05	426	579	14.10	1.41	0.037 4	2.7	0.26	22	0.050	22	236.6 ± 6.4
CG7-6.0	11.51	147	180	5.50	1.26	0.038 6	4.5	0.28	88	0.053	88	244.0 ± 11.0
CG7-7.0	3.92	589	1325	20.40	2.32	0.038 7	3.0	0.45	22	0.084	22	244.6 ± 7.3
CG7-8.0	11.60	459	890	16.20	2.01	0.036 4	4.2	0.54	40	0.108	39	230.5 ± 9.4
CG7-9.0	8.46	277	533	9.81	1.99	0.037 8	4.9	0.73	26	0.139	26	239.0 ± 11.0

Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射成因铅, 引用实测 ^{204}Pb 值进行普通铅校正, 误差为 1σ 。

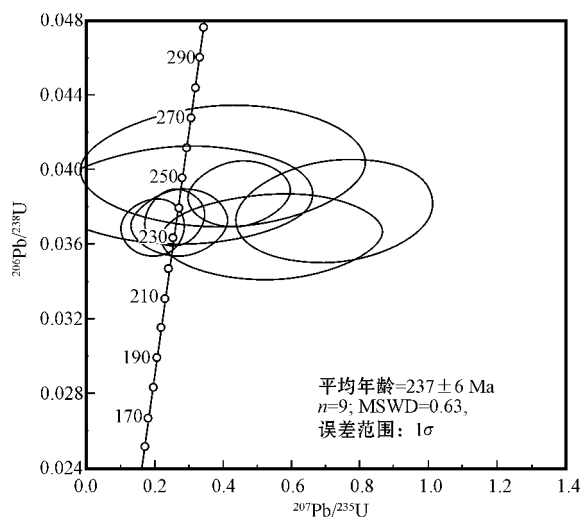


图3 查干敖包石英闪长岩体中锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ concordia diagram of zircon grains from Qagan Obo quartz diorite

5 讨论和结论

查干敖包石英闪长岩由于研究程度很低,一直以来没有获得精确年龄。从本次锆石 SHRIMP U-Pb 测试结果(表1)可以看出,9个测点的 $^{206}\text{Pb}_c$ 含量范围为3.05%~12.72%,锆石普通铅含量偏高可能与石英闪长岩 K、Na 含量高有关(宋彪等,2002); Th/U 比值为1.08~2.32,平均值为1.73,均大于0.5,表明所测锆石均为岩浆锆石(Vavra *et al.*, 1996, 1999; 刘敦一等,2003)。因此,237±6 Ma 代表了石英闪长岩的形成年龄。详细的野外调查工作表明,本区的上侏罗统布拉根哈达组流纹岩中见有石英闪长岩角砾,岩体与流纹岩接触面见有古风化壳,而且在石英闪长岩裂隙中见有流入的流纹岩,以上现象说明查干敖包富碱侵入岩体的形成时代早于上侏罗统布拉根哈达组流纹岩的形成时代[相当于满克头鄂博组火山岩的年龄160.26 Ma(赵国龙, 1989; 徐志刚, 1997)],本次所获得的年龄237±6 Ma 与野外地质现象吻合。

前人研究结果表明,在锡林浩特古生代中间地块南北两侧分别存在西拉木伦河晚古生代褶皱带和东乌珠穆沁旗晚古生代褶皱带(Zhang and Tang, 1989),西伯利亚板块和中朝板块于泥盆纪—石炭纪碰撞缝合之后,西伯利亚板块南缘就从挤压转向拉张的构造环境(洪大卫等,1994),在西伯利亚板块南

缘形成大规模的白音乌拉—东乌珠穆沁旗碱性花岗岩带,该碱性花岗岩带向西进入蒙古国境内,经蒙古戈壁、天山延伸至东准噶尔,向东延伸至黑龙江的黑河(洪大卫等,1994;孙德有等,2000;Wu *et al.*, 2002)。同位素年龄测定结果显示苏尼特左旗的白音乌拉、祖横得楞和阿巴嘎旗的扎那乌拉等碱性花岗岩的侵位时间为276~286 Ma(洪大卫等,1994),锡林浩特晶洞花岗岩的年龄为276 Ma(施光海等,2004),黑河—嫩江一带的碱性花岗岩形成于290~260 Ma(孙德有等,2000;Wu *et al.*, 2002),表明该带的碱性花岗岩大部分形成于二叠纪,与造山后的伸展作用有关。而在中朝板块北缘,直到三叠纪才形成大规模的碱性岩带,同位素年龄集中在230~210 Ma(阎国翰等,1989;洪大卫等,1994;张招崇等,1997)。洪大卫等(1994)把这两条碱性岩带形成时间上的先后差异解释为西伯利亚板块和中朝板块的面积和质量的悬殊而导致岩浆活动的不对称性。然而,在白音乌拉—东乌珠穆沁旗也有三叠纪 I 型花岗岩分布,如乌兰陶勒盖—海勒苏台花岗闪长岩(K-Ar 年龄230 Ma)、阿塔尔乌苏二长花岗岩(K-Ar 年龄234~243 Ma)、绥和查干乌拉花岗闪长岩(K-Ar 年龄244 Ma)、红格尔正长花岗岩(K-Ar 年龄217 Ma)等(洪大卫等,1994)。近年来,地质工作者们在西伯利亚板块南缘的白音乌拉—东乌珠穆沁旗碱性花岗岩带及其东延部分的黑河一带,逐渐发现了许多碱性花岗岩形成时代为三叠纪,如苏尼特左旗 A 型花岗岩的形成时间为222 Ma(SHRIMP U-Pb 法,石玉若等,2007),本文报道的查干敖包石英闪长岩的形成时间为237±6 Ma。笔者最近在查干敖包北东80 km 处测定的阿尔哈达铅—锌矿床外围的宾巴勒查干花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为218±5 Ma,黑河南侧的清水 A 型花岗岩的侵位年龄为222±5 Ma(孙德有等,2004)。这些就位于西伯利亚板块南缘的碱性花岗岩与中朝板块北缘的碱性花岗岩在空间上形成对称的两条碱性岩带,在时间上同属于三叠纪。因此,西伯利亚板块南缘三叠纪碱性花岗岩可能是中朝板块北缘三叠纪碱性岩浆活动在西伯利亚板块的响应,它们可能都属于从深部发动的一次新的构造热事件(邵济安等,2007)。

众所周知,兴蒙造山带古生代至中生代的花岗岩类分布广泛,各花岗岩类的特征总体表现为具有较低的 Sr 初始值、正的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和年轻的 Nd 模式年龄(Chen *et al.*, 2000; Jahn *et al.*, 2000; Wu

et al., 2000; 洪大卫等, 2000), 这些具有地幔来源特征的花岗岩与区域铜、金多金属矿在形成时代和物质来源上具有一定的继承性(洪大卫等, 2003; Jahn *et al.*, 2004)。但是长期以来地质学者们(赵一鸣等, 1994; 洪大卫等, 2003; 聂凤军等, 2004; 金岩等, 2005) 仅关注与海西期和燕山期花岗岩类岩浆矿化活动有关的找矿工作。由于本区研究程度相对较低, 对印支期的岩浆活动与金属成矿作用还没有重视。前人(内蒙古自治区地质局, 1978^①; 赵一鸣等, 1994; 金岩等, 2005) 认为查干敖包岩体形成于燕山期, 与其对应的查干敖包砂卡岩型铁-锌矿床为燕山期岩浆活动的产物。本文锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试结果表明, 查干敖包石英闪长岩形成于印支期。鉴于查干敖包铁-锌矿床与石英闪长岩的密切空间关系, 且内蒙古自治区地质局(1978^①) 已发现查干敖包岩体的锌含量平均在 0.01% 以上, 在人工重砂中发现铁矿物的含量比一般花岗岩体高, 推测查干敖包铁-锌矿床的成矿物质来源为石英闪长岩, 因此该矿床的形成时代也应为印支期。近年来, 随着找矿勘探工作的不断深入, 除查干敖包中型铁-锌矿床以外, 人们已经在查干敖包石英闪长岩株周围还陆续发现了以锌为主的曼特敖包中型铅-锌矿床、达赛脱铅-锌矿点和数处铜异常, 在印支期宾巴勒查干花岗岩外围发现了阿尔哈达大型铅-锌矿床(高群学等, 2005; 夏广清, 2005; 张万益等, 2007)。因此, 笔者认为在本区加强围绕印支期花岗岩体, 尤其是印支期碱性侵入岩的地质找矿工作显得非常重要。

致谢 在野外工作期间得到内蒙古兴业集团温银维总工程师和东乌旗查干敖包铁矿许俊杰副矿长的热情帮助, SHRIMP 年龄测试得到了北京离子中心王彦斌研究员和陶华女士的指导和帮助, 中国地质科学院矿产资源研究所王永磊博士参与了年龄测试工作, 评审专家为本文的修改提出了宝贵意见, 在此一并表示衷心的感谢。

References

Chen Bin, Jahn Bor-ming, Wilde S, *et al.* 2000. Two contrasting paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 328: 157~182.

- Claoue-Long J C, Compston W, Roberts J, *et al.* 1995. Two Carboniferous Ages: a Comparison of SHRIMP Zircon Dating with Conventional Zircon Ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Analysis[A]. Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, *et al.* Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation[C]. SEPM Special Publication, 5(4): 3~21.
- Gao Qunxue and Qian Ming. 2005. Geological, geo-physical and geochemical exploration characteristics and their ore-searching significance in Arhada Ag-Pb-Zn camp, Dong Ujimqin Banner[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources*, 20(Sup.): 95~99 (in Chinese).
- Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, *et al.* 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(3): 219~230 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, *et al.* 2000. Genesis of positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ granitoids in the Da Hinggan Mts. -Mongolia orogenic belt and growth continental crust[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 441~456 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, *et al.* 2003. Metallogenic province derived from mantle sources: A case study of central asian orogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 41~55 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B M, Brian W, Boris N, *et al.* 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 599~603.
- Jahn B M, Wu F Y and Chen B. 2000. Massive granitoid generation in central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. *Episodes*, 23: 82~92.
- Jin Yan, Liu Yutang and Xie Yuling. 2005. Relationship between magmatism and polymetal mineralization in Dongwuqi area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 22(1): 8~12 (in Chinese).
- Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, *et al.* 2003. SHRIMP dating Adakites in the Tulingkai Ophiolite, Inner Mongolia: evidence for the Early Paleozoic subduction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317~327 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2001. Squid 1.02: A user manual[A]. Berkeley Geochronological Center Special Publication[C]. 2: 19.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.0, a geochronological toolkit for Microsoft Excel[A]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication[C]. 4: 25~32.
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, *et al.* 2007. Metallogenic Studies and Prospecting Orientation in Central and Eastern Segments along China-Mongolia Border[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~574 (in Chinese).
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, *et al.* 2004. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring area[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 176

① 内蒙古自治区地质局. 1978. 1:20 万区域地质调查报告(额仁高毕幅、沙尔沟特幅). 1~85.

- ~189 in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun. 1991. The basic characteristics of the tectonic evolution of the continental lithosphere in China [J]. *Regional Geology of China*, (4): 289~293 in Chinese).
- Shao Ji'an, Zhang Luqiao, Mou Baolei, *et al.* 2007. Upwelling of Da Hinggan Mountains and Its Geodynamic Background [M]. Beijing: Geological Publishing House, 127~152.
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, *et al.* 2004. The age and regional tectonic significance of A-type granite in Xilinhot, Inner Mongolia [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 384~389 in Chinese with English abstract).
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Zhang Qi, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb zircon dating of Triassic A-type granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia, China and its tectonic implications [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(2): 183~189 in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Shuanhong, Wang Yanbin, *et al.* 2006. Avoidance of systematic bias of SHRIMP zircon U-Pb dating: Necessity of staged calibrations [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 25(1): 9~14 in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. *Geological Review*, 48 (Supp.): 26~30 in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan and Gao Shan. 2004. LA-ICPMS zircon U-Pb age of the Qingshui pluton in the east Xiao Hinggan Mountains [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 213~218 in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Huimin, *et al.* 2000. Emplacement age of the post-orogenic A-type granites in northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalaithe collisional suture zone [J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(20): 2217~2222 in Chinese).
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R, *et al.* 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea zone (southern Alps): an ionprobe (SHRIMP) study [J]. *Contrib. Mineral. Petro.*, 122: 337~358.
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea zone (south Alps) [J]. *Contrib. Mineral. Petro.*, 134: 380~404.
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high-grade paragneisses from the Sveinnes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. *Contrib. Mineral. Petro.*, 97: 205~217.
- Wright J B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. *Geol. Mag.*, 106: 370~384.
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S, *et al.* 2000. Phanerozoic continental crustal growth: Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China [J]. *Tectonophysics*, 328: 87~113.
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, *et al.* 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. *Chemical Geology*, 187: 143~173.
- Xia Guangqing. 2005. Soil geochemical exploration and its effect in Dongwuqi, Nei Mongolia [J]. *Mineral Resources and Geology*, 19 (6): 634~639 in Chinese).
- Xu Zhigang. 1997. Tectonic evolution and ore-controlling role of the Da Hinggan Mountains and its adjacent region [A]. Zhao Yiming. *Metallurgy and Prospective Evaluation of Copper-Polymetallic Deposits in the Da Hinggan Mountains and its Adjacent Regions* [C]. Beijing: Seismological Press, 1~21 in Chinese).
- Yan Guohan, Mou Baolei and Zeng Yishan. 1989. Temporal-spatial distribution and tectonic significance of alkaline and weakly-alkaline intrusions in northern China [J]. *Journal Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources of Chinese Academy of Geology Science*, 19: 93~100 in Chinese).
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Liu Yan, *et al.* 2007. Studies on sulfur and lead isotope of the Ahehada Pb-Zn-Ag deposit, Dong Ujmqin Qi (County), Inner Mongolia [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(5): 868~883 in Chinese with English abstract).
- Zhang Y P and Tang K D. 1989. Pre-Jurassic tectonic evolution of intercontinental region and the suture zone between the North China and Siberian platform [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 3: 47~55.
- Zhang Zhaochong and Wang Yongqiang. 1997. Indosinian alkaline magmatism in north Hebei province and its geodynamic significance [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 16(4): 214~217 in Chinese with English abstract).
- Zhao Guolong, Yang Guilin, Wang Zhong, *et al.* 1989. Mesozoic Volcanic Rocks in the Middle-South Daxinganling [M]. Beijing: Science and Technique Publishing House of Beijing, 1~203 in Chinese).
- Zhao Yiming, Wang Dawei, Zhang Dequan, *et al.* 1994. Geological Setting and Exploration Model for the Polymetallic Deposits Occurring in the Southeastern Part of Inner Mongolia [M]. Beijing: Seismologic Press, 1~234 in Chinese).

附中文参考文献

- 高群学, 钱明. 2005. 内蒙古东乌旗阿尔哈达银铅锌矿区地质、物化探特征及其找矿意义 [J]. *地质找矿论丛* (增刊) 95~99.
- 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义 [J]. *地质学报*, 68(3): 219~230.
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 等. 2000. 兴蒙造山带正 $\epsilon_{\text{Nb}}(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长 [J]. *地学前缘*, 7(2): 441~456.
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 等. 2003. 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例 [J]. *矿床地质*, 22(1): 41~55.
- 金岩, 刘玉堂, 谢玉玲. 2005. 内蒙古东乌旗地区岩浆活动与多金属成矿的关系 [J]. *华南地质与矿产* (1): 8~12.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 2003. 内蒙古图林凯蛇纹岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早中生代洋壳消减的证据 [J]. *地质学报*, 77(3): 317~327.

- 聂凤军,江思宏,白大明,等. 2007. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向[M]. 北京:地质出版社,1~574.
- 聂凤军,江思宏,张义,等. 2004. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质,23(2):176~189.
- 任纪舜. 1991. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质(4):289~293.
- 邵济安,张履桥,牟保磊,等. 2007. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 北京:地质出版社,127~152.
- 施光海,苗来成,张福勤,等. 2004. 内蒙古锡林浩特A型花岗岩的时代及区域构造意义[J]. 科学通报,49(4):384~389.
- 石玉若,刘敦一,张旗,等. 2007. 内蒙古中部苏尼特左旗地区三叠纪A型花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其区域构造意义[J]. 地质通报,26(2):183~189.
- 宋彪,张拴宏,王彦斌,等. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理是系统偏差的避免—标准锆石分段校正的必要性[J]. 岩矿测试,25(1):9~14.
- 宋彪,张玉海,万渝生,等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评,48(增刊):26~30.
- 孙德有,吴福元,高山. 2004. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报,25(2):213~218.
- 孙德有,吴福元,李惠民,等. 2000. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报,45(20):2217~2222.
- 夏广清. 2005. 内蒙古东乌旗地区土壤地球化学测量及找矿效果[J]. 矿产与地质,19(6):634~639.
- 徐志刚. 1997. 大兴安岭及其邻区构造演化及控矿作用[A]. 赵一鸣. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[C]. 北京:地震出版社,1~21.
- 阎国翰,牟保磊,曾贻善. 1989. 中国北方碱性和偏碱性侵入岩的时空分布及大地构造意义[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊,19:93~100.
- 张万益,聂凤军,刘妍,等. 2007. 内蒙古东乌旗阿尔哈达铅-锌-银矿床硫和铅同位素研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),37(5):868~883.
- 张招崇,王永强. 1997. 冀北印支期碱性岩浆活动及其地球动力学意义[J]. 矿物岩石地球化学通报,16(4):214~217.
- 赵国龙,杨桂林,王忠,等. 1989. 大兴安岭中南段中生代火山岩[M]. 北京:北京科学技术出版社,1~205.
- 赵一鸣,王大畏,张德全,等. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式[M]. 北京:地震出版社,1~234.