

文章编号: 0258-7106 (2006) 04-0463-07

新疆坡北基性-超基性岩带 I 号岩体 Sm-Nd 和 SHRIMP U-Pb 同位素年龄及其地质意义*

李华芹¹, 陈富文¹, 梅玉萍¹, 吴 华², 程松林², 杨甲全², 代玉财²

(1 中国地质调查局宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 2 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局
第六地质大队, 新疆 哈密 839000)

摘 要 坡北基性-超基性岩带 I 号岩体位于塔里木板块东北部北山裂谷带内, 侵位于下石炭统红柳园组。该岩体规模较大、分异良好, 是坡北岩带中寻找铜镍硫化物矿床最具代表性岩体之一。前人根据侵位地层的时代, 间接推断该岩体形成于中、晚石炭世。笔者首次对该岩体不同岩相进行了同位素年代学研究, 获得岩体 Sm-Nd 等时线年龄为 (307 ± 32) Ma (95% 可信度, MSWD = 0.12), 辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (278 ± 2) Ma (95% 可信度, MSWD = 1.17)。鉴于铜镍矿化无论从时间上和空间上都与岩体的侵位密切相关, 矿床成因类型为岩浆熔离型, 说明坡北 I 号铜镍矿区的成岩成矿作用发生于晚石炭世—早二叠世, 是后碰撞构造背景下幔源岩浆上侵的产物。

关键词 地球化学; 基性-超基性岩; 坡北 I 号岩体; Sm-Nd 年龄; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 新疆

中图分类号: P597+.3

文献标识码: A

Isotopic ages of No.1 intrusive body in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and their geological significance

LI HuaQin¹, CHEN Fu Wen¹, MEI YuPing¹, WU Hua², CHENG SongLin², YANG JiaQuan² and DAI YuCai²

(1 Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China; 2 No.6 Geological Party, Xinjiang
Bureau of Geological Exploration and Exploitation, Hami 839000, Xinjiang, China)

Abstract

Located in Beishan rift in the northeastern part of Tarim plate, the Pobei No.1 mafic-ultramafic body intruded into Early Carboniferous Hongliuyuan Formation. It is large in size and well differentiated, being one of the most important intrusive bodies in search for copper-nickel-sulfide orebodies. According to its emplacement strata, it was previously thought that this intrusive body was formed in Middle-Late Carboniferous. The authors dated for the first time different lithofacies of the Pobei No.1 mafic-ultramafic intrusive body, obtained a whole-rock Sm-Nd isochron age of (307 ± 32) Ma (95% confidence, MSWD = 0.12) and a zircon SHRIMP U-Pb age of (278 ± 2) Ma (95% confidence, MSWD = 1.17). Cu-Ni mineralization shows a close time-space relationship with the mafic-ultramafic intrusive body, being a product of magmatic liquation. It is therefore concluded that the intrusion of the Pobei No.1 mafic-ultramafic rock body and the related mineralization occurred in a post-orogenic dynamic setting in Late Carboniferous-Early Permian.

Key words: geochemistry, mafic-ultramafic rock, Pobei No.1 intrusive body, Sm-Nd age, zircon SHRIMP

* 本文为国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409810)资助成果

第一作者简介: 李华芹, 男, 1939 年生, 研究员, 长期从事同位素地质年代学研究工作。通讯地址: 湖北省宜昌市港窑路 37 号; 电话: 0717-6346923; Email: yclhq@etang.com。

收稿日期: 2006-03-13; 改回日期: 2006-04-20。张绮玲编辑。

U-Pb age, Xinjiang

坡北基性-超基性岩带位于塔里木板块东北部北山裂谷带内,长约 16 km,宽 8 km,目前已发现的基性-超基性杂岩体约 20 余个,是新疆重要的铜镍成矿远景区之一。I 号岩体位于该岩带中段,侵位于下石炭统红柳园组,由幔源岩浆经深部分异侵位而形成的不同岩相构成。岩体规模较大、分异良好,是坡北岩带中寻找铜镍硫化物矿床最具代表性的岩体之一。前人(高怀忠等,1992;李鸿儒等,1994;杨甲全等,2002)根据侵位地层的时代,间接推断该岩体形成的时代为中、晚石炭世;并对岩带的地质特征、控矿构造特征、含矿性进行过研究,对成矿预测及找矿方向进行过探讨,但有关岩体的形成时代及同位素地球化学特征等方面的研究至今还属空白。笔者首次对坡北超基性岩带 I 号岩体中的不同岩相开展了全岩 Sm-Nd 和辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究,这一成果将为精确厘定岩体的侵位时代及其形成的构造背景提供重要的同位素依据。

1 岩体地质特征

坡北基性-超基性岩带位于北山裂谷带中,受北东向的白地洼断裂控制。坡北 I 号岩体位于该岩带中段,侵位于下石炭统红柳园组,岩体平面形态呈不规则梯形,东西长 3.2 km,南北宽约 1.08 km,出露面积 3.6 km²。岩体与围岩的接触面产状在南部较缓,倾角约 40°,东北部较陡,倾角为 70°。岩体主要由幔源岩浆经深部分异 4 次侵位而形成的不同岩相构成(图 1),各岩相特征如下:

细粒辉长苏长岩体相(U_4^a):为第一侵入次岩相,主要出露在东部和西部,呈长条状沿白地洼断裂南侧分布,岩石具细粒结构。主要矿物为培长石,其次为透辉石和古铜辉石,局部含橄榄石。

橄榄岩及橄榄辉石岩相(Σ_4^b):为第二侵入超基性岩相,主要分布于岩体南部边缘,岩石具中粒结构,主要由透辉石和贵橄榄石组成,橄榄石含量 25%~80%,含少量斜长石。

浅色橄榄辉长岩相(U_4^{b1}):为第二侵入次基性岩相,分布于岩体四周,岩石具中粒辉长结构,由培长石、透辉石和贵橄榄石组成。

橄榄辉长岩相(U_4^{b2}):主要分布于东部及南侧,与浅色橄榄辉长岩(U_4^{b1})及第二侵入次超基性岩相

(Σ_4^b)均呈渐变关系,是过渡相,岩石主要由培长石、普通辉石和贵橄榄石组成。

超镁铁质岩相(U_4^c):为第三侵入次岩相,主要出现在第二侵入次岩体内部,与其构成镁铁质、超镁铁质复式岩体。岩石具中粒结构,一般为橄榄岩和辉石岩,少数具有橄榄辉长岩相。

蚀变辉长岩相(U_4^d):为第四侵入次岩相,呈脉状产于上述各相岩体中。岩石具中粒结构,辉石发生了强烈透闪石化,可能为岩浆期末残余岩浆贯入而形成的。

2 测年样品及分析方法

2.1 测年样品

SHRIMP U-Pb 样品取自 I 号岩体第四侵入次的蚀变辉长岩体(东经 91°33'04";北纬 40°35'33")。岩体呈脉状产于第二、三侵入次的各岩相中,岩石具中粒结构,辉石发生了强烈透闪石化。从野外采集的辉长岩大样中按常规矿物分离方法分离出锆石备作同位素定年。Sm-Nd 等时线定年样品由成都理工大学肖渊甫教授取自 I 号岩体东部第二侵入次不同岩相(见图 1)。岩石以具有中粒结构、普遍含橄榄石为特征。

2.2 分析方法

Sm-Nd 同位素定年方法见李华芹等(1998)所报道的流程。Sm-Nd 同位素测定在宜昌地矿所同位素实验室 MAT-261 可调多接收质谱计上完成。试样以氯化物形式涂在预先处理好的铍带上,Sm 和 Nd 均采用双带热表面电离技术进行测定。质量分馏用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行校正。在测定本样品过程中,采用 GBW04119 同位素地质年龄测定国家一级标准物质来监控仪器工作状态和分析流程。全部操作在净化实验室的净化柜进行,使用的全部器皿均由铂金、氟塑料和石英制成;所用试剂经亚沸蒸馏,其 Sm 和 Nd 全流程空白为 $(10^{-10} \sim 5 \times 10^{-11})\text{g}$,空白对所测样品的影响可忽略不计, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值测定精度的相对标准偏差小于 0.005%。

锆石 SHRIMP U-Pb 定年方法见 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)及宋彪等(2002)、刘敦一等(2003)所报道的流程。按常规的方法从待测标本中分离出纯净锆石,最后在双目镜下挑选晶形完好、

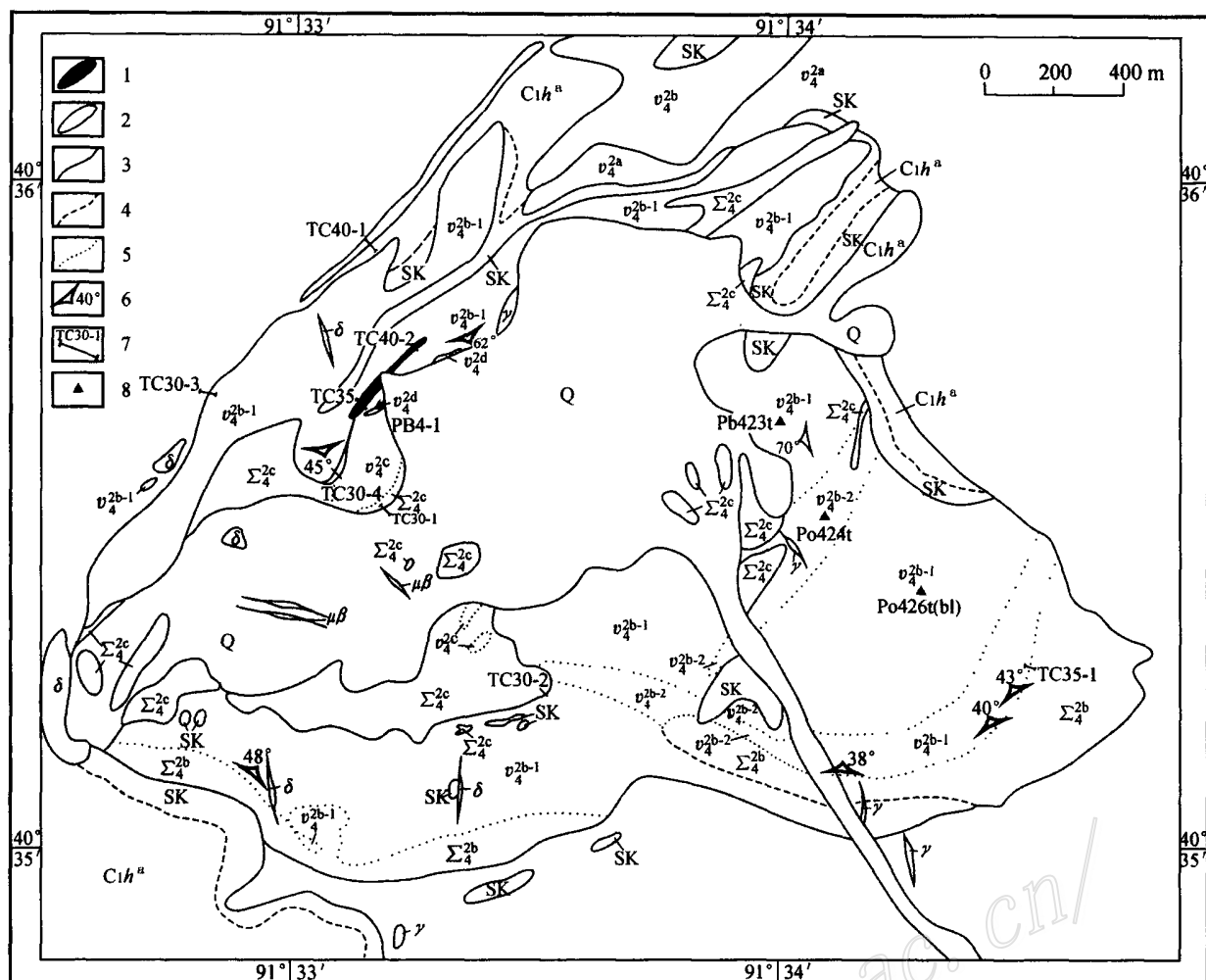


图 1 坡北 1 号基性-超基性岩体地质草图(据高怀忠等,1992)

Q—第四系;SK—矽卡岩; C_1h^a —石炭系红柳园组大理岩; v_4 —花岗岩; δ —闪长岩,闪长玢岩; $\mu\beta$ —辉绿岩,辉绿玢岩; v_4^{2d} —第四侵入次辉长岩; v_4^{2c} —第三侵入次橄榄辉长岩,橄榄岩及橄榄辉石岩; v_4^{2b-1} —第二侵入次浅色橄榄辉长岩及辉石岩; v_4^{2b-2} —第二侵入次橄榄辉长岩; Σ_4^{2b} —第二侵入次橄榄岩及橄榄辉石岩; v_4^{2a} —第一侵入次细粒辉长苏长岩;1—稀疏浸染状硫化物矿化带;2—玛瑙含矿层;3—地质界线;4—推测地质界线;5—岩相分界线;6—岩体流面产状;7—探槽及编号;8—同位素年龄采样位置

Fig. 1 Geological sketch map of the Pobei No.1 mafic-ultramafic intrusive body(after Gao et al., 1992)

Q—Quaternary;SK—Skarn; C_1h^a —Marble of Early Carboniferous Hongliuyuan Formation; v_4 —Granite; δ —Diorite, diorite porphyrite; $\mu\beta$ —Diabase, diabase porphyrite; v_4^{2d} —4th intrusive gabbro; v_4^{2c} —3rd intrusive olivine gabbro, peridotite and olivine pyroxenite; v_4^{2b-1} —2nd intrusive light-colored olivine gabbro and pyroxenite; v_4^{2b-2} —2nd intrusive olivine gabbro; Σ_4^{2b} —2nd intrusive peridotite and olivine pyroxenite; v_4^{2a} —1st intrusive fine-grained gabbro-norite;1—Sparsely disseminated sulfide mineralized belt;2—Agate-bearing mineralized layer;3—Geological boundary;4—Inferred geological boundary;5—Lithofaces boundary;6—Planar flow attitude of the intrusive body;7—Prospecting trench and its serial number;

8—Sampling site for isotopic dating

具有代表性的锆石,和标准锆石(TEM)一起粘贴在环氧树脂靶上,然后磨至使锆石内部暴露的程度,并对靶上的标准和待测锆石进行透射光、反射光和阴极发光图像研究,根据研究目的确定具体分析的锆石点位。应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行年龄校正,据另一标准锆石 SL13 标定测定锆石的 U、Th 和 Pb 含量。

2.3 测定结果

全岩 Sm-Nd 等时线年龄的测定结果如表 1 和图 2 所示。3 个岩性基本相同的中粒辉石橄榄岩和中粒辉长橄榄岩全岩样品所拟合的等时线具有良好的线性关系($MSWD=0.108$)。求得相应的年龄为 (307 ± 32) Ma(95%可信度)。由于等时线点少,所获得的年龄误差较大,但与岩体侵入地层的时代为

表 1 坡北 I 号基性-超基性杂岩体 Sm-Nd 等时线年龄数据
Table 1 Sm-Nd data of mafic-ultramafic rocks from the Pobei No.1 intrusion body

序号	样号	样品名称	Sm/10 ⁻⁶	Nd/10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _{初始}	T ₂ DM	ε _{Nd} (t)*
1	PB423t	暗灰色中细粒辉石 橄榄岩	0.9064	2.472	0.2219	0.512772±0.000005	0.512326	937	1.6
2	Po424t	灰黑色中细粒辉石 橄榄岩	1.627	5.265	0.1869	0.512702±0.000018	0.512326	937	1.6
5	Po426t(bl)	暗灰色中粒辉长 橄榄岩	1.734	4.928	0.2128	0.512755±0.000024	0.512327	935	1.7

* 注:计算 ε_{Nd}(t) 值的年龄采用本文测定的 Sm-Nd 等时线年龄(307 Ma)。

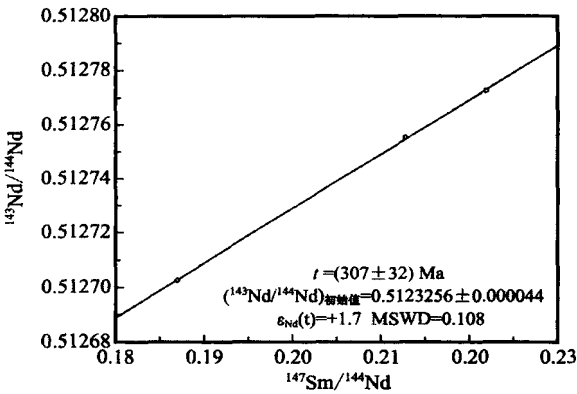


图 2 坡北 I 号基性-超基性岩体 Sm-Nd 等时线图

Fig. 2 Sm-Nd isochron of the Pobei No.1 mafic-ultramafic body

石炭纪的地质事实相吻合,对研究坡北基性-超基性岩体的侵位时间仍有重要的参考价值,即坡北 I 号基性-超基性岩体的形成时间可能为晚石炭世—早二叠世。坡北 I 号基性-超基性杂岩带第四侵入次辉长岩锆石的阴极发光图像和 SHRIMP U-Pb 同

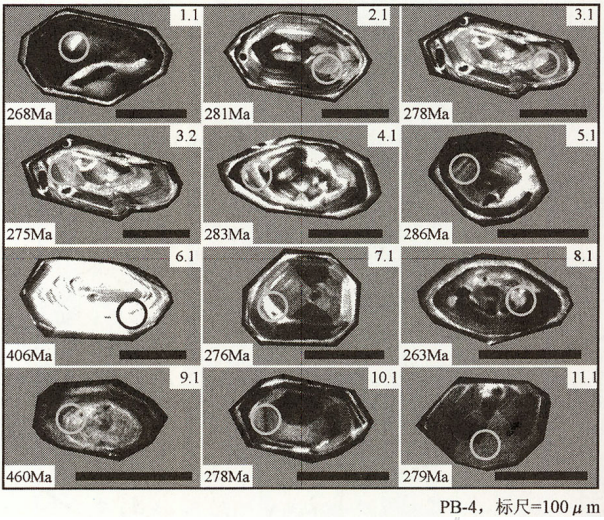


图 3 坡北 I 号基性-超基性杂岩体辉长岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL diagram of zircons from gabbro of the Pobei No.1 mafic-ultramafic body

位素年龄测定结果如图 3、表 2 和图 4 所示,锆石的阴极发光图像显示它们均为透明的自形晶体,韵律

表 2 坡北 I 号基性-超基性杂岩体辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄数据
Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb data of gabbro from the Pobei No.1 mafic-ultramafic body

点号	²⁰⁶ Pb _c / %	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* / 10 ⁻⁶	t(²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U) / Ma	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	
							测定值	相对误差/ %	测定值	相对误差/ %
PB4-1.1	0.24477	371.2	254	0.70636	13.5	268 ± 2	0.3054	3.0	0.04237	0.71
PB4-2.1	0.31916	201.7	88.1	0.45125	7.73	281 ± 3	0.308	3.9	0.04449	1.2
PB4-3.1	0.633	179.7	86	0.49472	6.84	278 ± 3	0.304	4.2	0.04402	1.0
PB4-3.2	0.67075	183	91.9	0.51879	6.90	275 ± 4	0.344	5.9	0.04361	1.3
PB4-4.1	1.98179	246.5	158	0.66404	9.68	283 ± 3	0.309	9.3	0.04481	1.1
PB4-5.1	0.4737	395.2	192	0.50179	15.5	286 ± 2	0.337	4.1	0.04530	0.83
PB4-6.1	0.43308	129.8	63.8	0.50776	7.29	406 ± 16	0.538	6.3	0.0651	4.2
PB4-7.1	0.63478	245.2	116	0.48736	9.27	276 ± 3	0.343	4.6	0.04373	1.2
PB4-8.1	0.21409	272.2	123	0.46714	9.75	263 ± 7	0.368	4.3	0.0416	2.8
PB4-9.1	0.2805	172.4	102	0.60918	11.0	460 ± 5	0.660	4.2	0.07403	1.0
PB4-10.1	0.27776	299.2	151	0.52306	11.4	278 ± 3	0.344	3.9	0.04412	1.1
PB4-11.1	1.8E-29	401.2	150	0.38532	15.2	279 ± 2	0.3359	2.6	0.04415	0.82

Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射成因铅,普通铅用 ²⁰⁴Pb 测定值校正。

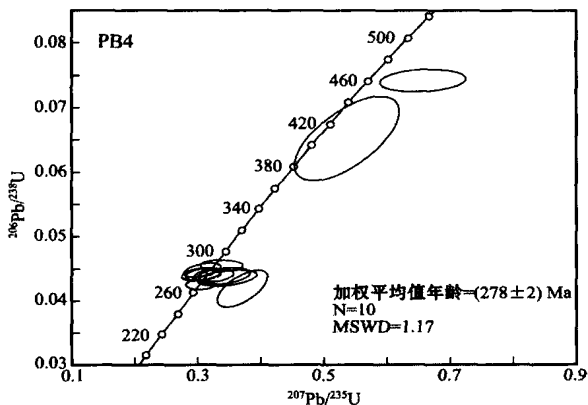


图 4 坡北 I 号基性-超基性杂岩体辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon SHRIMP U-Pb concordia of gabbro from the Pobei No. 1 mafic-ultramafic body

环带结构发育(见图 3),并具有高的 Th/U 比值,应属典型岩浆成因锆石。所分析的 12 个点中,除 PB4-6.1 和 PB4-9.1 的年龄明显偏高外(406 ~ 460 Ma),其余 10 个分析点的年龄分布在 263 ~ 283 Ma 范围之内,10 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 比值年龄的加权平均值为(278 ± 2) Ma(95 %可信度,MSWD = 1.17)。鉴于所测锆石据典型的岩浆成因特征,其年龄代表了辉长岩侵位的时间,即 I 号岩体第四侵入次辉长岩的侵位发生在早二叠世。

3 讨论与结论

新疆北部与铜镍硫化物矿床有关的基性-超基性杂岩带有喀拉通克镁铁质杂岩带,黄山-黄山东和香山镁铁-超镁铁杂岩带,菁布拉克基性-超基性杂岩带,库鲁克塔格基性-超基性杂岩带和白石泉-天宇基性-超基性杂岩带。根据前人(王润民,1991;倪守斌等,1994;李华芹,1998;秦克章,2002;毛景文等,2002;吴华等,2005)对含矿体所侵入地层时代及成岩成矿年代学的研究结果,表明新疆北部铜镍硫化物矿床的成岩成矿时代大致可分 2 期,即晋宁期和海西中晚期,前者分布于库鲁克塔格镁铁-超镁铁杂岩带,含矿岩体侵位于元古宇片岩、片麻岩和大理岩中,其成岩成矿时代为 1 209 Ma(李华芹,1998);海西中晚期含矿镁铁-超镁铁杂岩体多侵位于中下石炭统地层或中下石炭统火山岩、火山沉积岩中,仅菁布拉克镁铁-超镁铁杂岩体侵位于志留系片岩、片麻岩中,其成岩成矿时代介于 280 ~ 320 Ma 之间。

表明晚石炭纪末—早二叠纪初幔源岩浆作用普遍,并形成了规模可观的岩浆熔离型铜镍矿床。前人对坡北岩带的工作主要着重于对岩体和构造特征,以及成矿预测和找矿方向方面的研究。李鸿儒等(1994)报道坡北岩带第二侵入次橄榄辉长岩和第四侵入次蚀变辉长岩的同位素年龄分别为 332.5 Ma 和 288.4 Ma,考虑到该岩带侵位于下石炭统地层之中,故间接推测其侵入时代应为中-晚石炭世。笔者此次对坡北 I 号岩体第二侵入次橄榄辉长岩和第四侵入次辉长岩开展的 Sm-Nd 和 SHRIMP U-Pb 年代学研究,分别获得橄榄辉长岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 307 Ma(95 %可信度),辉长岩中 10 颗锆石的 SHRIMP U-Pb 加权平均值年龄为(278 ± 2) Ma(95 %可信度)。同时还得到 2 个老于加权平均值的年龄信息(406 Ma, 460 Ma)。上述测定结果表明,尽管 Sm-Nd 等时线测定点少且误差较大,但它与该岩体侵入下石炭统地层时代的地质事实相吻合,因此,307 Ma 为制约坡北岩带早期岩浆侵入活动的时间提供了直接的证据。即岩带早期橄榄辉长岩相的形成时间可能为晚石炭世—早二叠世,鉴于第四侵入次辉长岩中锆石的阴极发光图像和 Th/U 比值都具有岩浆锆石成因特征,显然辉长岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(278 Ma)直接代表了坡北岩带 I 号岩体第四侵入次岩浆活动形成辉长岩的时间,即表明岩浆期末残余基性岩浆贯入而形成的时间为二叠世早期。从上述测定结果可知,坡北基性-超基性杂岩带从早到晚形成不同岩相的时间域在 278 ~ 307 Ma 之间。出现的 2 个老锆石年龄信息所代表的确切地质意义尚须进一步研究,但初步认为可能是由于基性-超基性岩体在侵位过程中捕获老陆壳基底的岩浆锆石所致。

根据大量的年代学资料(李华芹等,1998;2004;吴华等,2005)和前人对东天山晚古生代以来的构造演化(韩宝福等,1998;李锦轶等,2002;2006)研究成果,显示该区碰撞造山作用发生在石炭世晚期。表明坡北基性-超基性 I 号岩体及新疆北部其他晚石炭世—早二叠世形成的基性-超基性杂岩体的构造背景均为后碰撞幔源岩浆上侵的产物。但根据本文所获得的 ϵ_{Nd} (307 Ma) 值为 1.6 ~ 1.7(见表 1),表明坡北 I 号杂岩体的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值低于正常幔源拉斑岩,其原因可能是幔源岩浆侵位过程中受到岩浆房或围岩中低 ϵ_{Nd} 物质的同化混染所致。鉴于坡北 I 号铜镍矿床属岩浆熔离型矿床,矿化时间与基性-超基性

杂岩体形成时间应基本同时,即晚石炭世—早二叠世。在后碰撞阶段,北疆地区不仅有幔源岩浆活动及形成相关的岩浆熔离型铜镍矿床,同时还有大量的花岗岩浆侵位和基性-中基性火山岩活动。如石英滩火山岩与相关的浅成低温热液金矿、西风山花岗岩与相关的岩浆热液金矿、三岔口斜长花岗斑岩型铜矿等。除了伸展构造环境的岩浆活动及成矿作用外,还发生了大规模的剪切成矿作用,例如康古尔塔格和多纳拉萨依—赛都区域性韧性剪切带及伴随的金矿化都发生在晚石炭世末—早二叠世的成岩成矿时间域内。

References

- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale[J]. *J. Geol. Soc.*, 149: 171 ~ 184.
- Gao H Z. 1992. Geological characteristics of No.1 basic-ultrabasic intrusives body and its ore potentiality, Pobei, Xinjiang[J]. *Earth Science*, 17(4): 391 ~ 401 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, He G Q and Wang S G. 1998. Postcollisional mantle derived magmatism and vertical growth of the continental crust in north Xinjiang[J]. *Geological Review*, 44(1): 396 ~ 407 (in Chinese with English abstract).
- Li H R. 1994. Rock-controlling structure of the Pobei basic-ultrabasic belt in Xinjiang and its metallogenic specialization[J]. *Regional Geology of China*, (3): 227 ~ 233 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Xie C F, Chang H L, et al. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 10 ~ 24 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Chen F W, et al. 2004. Isotopic geochemistry of regional mineralization in Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 259 ~ 276 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y, Wang K Z, Li W Q, Guo H C, Song B, Wang Y and Mo S G. 2002. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in eastern tianshan mountains, NW China[M]. *Xinjiang Geology*, 20(4): 295 ~ 301 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y, He G Q, Xu X, Li H Q, Sun G H, Yang T N, Gao L M, and Zhu Z X. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 139 ~ 168 (in Chinese with English abstract).
- Liu D Y, Jian P, Zhang Q, Zhang F Q, Shi Y R, Shi G H, Zhang L Q and Tao H. 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulinkai Ophiolite Inner Mongolia: Evidence for the early Paleozoic subduction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317 ~ 327 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Qu W J, Du A D, Wang Z L and Han C M. 2002. Re-Os, dating of Cu-Ni Sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 21(4): 323 ~ 330 (in Chinese with English abstract).
- Ni S B, Man F S and Chen J F. 1994. Sm-Nd isotope ages of basic and ultrabasic rocks from the Qingbulak belt, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13(3): 227 ~ 231.
- Qin K Z, Fang T H, Wang S L, Zhu B Q, Feng Y M, Yu H F and Xiu Q Y. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenetic settings in eastern Tianshan mountains, NW-China[J]. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302 ~ 308 (in Chinese with English abstract).
- Song B, Zhang Y H and Wan Y S. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 48(Supp.): 26 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Wang R M and Zhao C L. 1991. Karatungk Cu-Ni Sulfide No.1 ore deposit in Xinjiang[M]. The People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources geological memoirs. Beijing: Geol. Pub. House. 253 ~ 276 (in Chinese).
- Wang R M, Liu D Q Yin D T. 1987. The conditions of controlling metallogeny of Cu, Ni sulphide ore deposits and the orientation of finding ore, Hami, Xinjiang, China[J]. *Minerals and Rocks*, 7(1): 1 ~ 144 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S and Clacsson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian Province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Low Microprobe zircon U-Pb Contrib[J]. *Mineral. Petrol.*, 97: 205 ~ 217.
- Wu H, Li H Q, Mo X H, Chen F W, Lu Y F, Mei Y P and Deng G. 2005. Age of the baishiquan mafic-ultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(4): 498 ~ 502 (in Chinese with English abstract).
- Yang J Q, Zhong L and Deng G. 2002. Metallogenetic prognosis and prospecting targets of Pobei basic-ultrabasic rock bodies 1 and 10 in Beishan area[J]. *Xinjiang Geology*, 20(3): 214 ~ 218 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 高怀忠. 1992. 新疆坡北基性-超基性岩带 I 号岩体地质特征及其含矿性研究[J]. *地球科学*, 17(4): 391 ~ 401.
- 韩宝福, 何国琦, 王式光. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[J]. *地质论评*, 44(1): 396 ~ 407.
- 李鸿儒. 1994. 新疆坡北基性-超基性岩带控岩构造特征及成矿专属性[J]. *中国区域地质*, (3): 227 ~ 233.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 10 ~ 24.
- 李华芹, 陈富文, 等. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 259 ~ 276.
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 郭华春, 宋彪, 王瑜, 莫申国. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. *新疆地质*, 20(4): 295 ~ 301.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新.

2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程初步探讨[J]. 地质学报, 80(1):139~168.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 张福勤, 石玉若, 施光海, 张履桥, 陶华. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克浅色岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据[J]. 地质学报, 77(3):317~327.
- 毛景文, 杨近民, 屈文俊, 杜安道, 王志良, 韩春明. 2002. 新疆黄山东铜镍矿床 Re- Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 21(4):323~330.
- 倪守斌, 满发胜, 陈江峰. 1994. 新疆普布拉克基性超基性岩带的 Sm- Nd 同位素年龄[J]. 矿物岩石学杂志, 13(3):227~231.
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 朱宝清, 冯益民, 于海峰, 修群业. 2002. 东天山板块构造分区、演化与成矿背景研究[J]. 新疆地质, 20(4):302~312.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生. 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.
- 王润民, 刘德权, 殷定泰. 1987. 新疆哈密土墩-黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究[J]. 矿物岩石, 7(1):1~144.
- 王润民, 赵昌龙. 1991. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床[M]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报. 北京:地质出版社. 253~276.
- 吴华, 李华芹, 莫新华, 陈富文, 路远发, 梅玉萍, 邓刚. 2005. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩体形成时代及其地质意义[J]. 地质学报, 79(4):498~502.
- 杨甲全, 钟莉, 邓刚. 2002. 北山地区坡北1号、10号基性-超基性岩体成矿预测及找矿方向[J]. 新疆地质, 20(3):214~218.

<http://www.kcdz.ac.cn/>