文章编号:0258-7106 (2009) 05-0633-10

新疆坡北基性-超基性岩带 10 号岩体 SHRIMP U-Pb 和矿石 Re-Os 同位素定年及其意义*

李华芹[1],梅玉萍[1],屈文俊[2],蔡 红[1],杜国民[1]

(1 中国地质调查局宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌 443005;2 国家地质实验测试中心,北京 100037)

摘 要 坡北基性-超基性岩带 10 号岩体位于塔里木板块东北部北山裂谷带内,岩体侵位于下石炭统红柳园组。前人根据岩体侵位地层的时代,间接推断出该岩体形成年龄为晚石炭世—早二叠世。文章对坡北基性-超基性岩带的 10 号岩体辉长岩和浸染状矿石分别进行了锆石 SHRIMP U-Pb、Re-Os 定年和 Sr-Nd 同位素示踪研究,获得岩体的辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄信息比较分散,其表面年龄信息从古生代—新元古代—古元古代—新太古代均有显示,揭示了新疆塔里木板块东北部北山裂谷带内的基性-超基性岩体的形成经历了复杂的地质演化历史。所获得的主体锆石的年龄为(289±13) Ma(95 %可信度),与岩体侵位于下石炭统红柳园组的地质事实相吻合,可能代表了岩体形成的时间,而年龄信息(2 559~2 589 Ma)暗示了北山地区可能存在古元古代—新太古代的结晶基底。获得浸染状铜镍硫化物矿石的 Re-Os 等时线年龄为(413±20) Ma (95 %可信度),该年龄不仅大于含矿超基性岩体(289 Ma)的形成时代,而且也老于岩体所侵入的下石炭统红柳园组的地层时代,显然与宏观的地质证据相悖。Sr-Nd 和 Os 同位素特征研究表明,坡北岩带在约 280 Ma 前成岩成矿时,岩浆在从地幔源区侵入到地壳过程中受到了地壳物质混染,致使浸染状矿石的 Re-Os 同位素体系呈二元混合体系,因此浸染状矿石 Re-Os 同位素体系确定的等时线疑为假等时线,其年龄不能代表矿床形成时代或不具有确切的地质意义。铜镍矿化无论从时间上还是空间上都与岩体的侵位密切相关,矿床成因类型又为岩浆熔离型矿床,表明坡北 10 号铜镍硫化物矿床的成岩成矿时间应发生在晚石炭世—早二叠世期间,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;坡北 10 号基性-超基性岩体;锆石 SHRIMP U-Pb 定年;Re-Os 同位素定年;Sr-Nd 同位素特征;新疆

中图分类号:P597 **文献标志码**:A

SHRIMP zircon U-Pb and Re-Os dating of No. 10 intrusive body and associated ores in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and its significance

LI HuaQin[1], MEI YuPing[1], QU WenJun[2], CAI Hong[1] and DU GuoMin[1]

(1 Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443005, Hubei, China; 2 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in Beishan rift in the northeastern part of Tarim plate, the Pobei No. 10 mafic-ultramafic body intruded into Early Carboniferous Hongliuyuan Formation. It is large in size and well differentiated, thus serving as one of the most important intrusive bodies in search for copper-nickel sulfides. According to its emplacement strata, it was previously thought that this intrusive body was formed in Late Carboniferous-Early Permian. The

* 本文得到国家科技支撑重点项目(编号:2006BAB07B08-01)和地质调查项目(编号:1212010786006、121010633903)的联合资助

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。Email:hqliyc@126.com

收稿日期 2009-05-10;改回日期 2009-07-10。李德先编辑。

http://www.kcdz.ac.cn

authors performed dating by using such techniques as zircon U-Pb, disseminated ores Re-Os and Sr-Nd isotopic tracer with the purpose of systematic determination of the magmatic and mineralization ages, on such a basis, discussed the metallogenic significance of systematic differences between the ages dated by different isotopic systems. Radiometric dating of the gabbro from the Pobei No. 10 mafic-ultramafic body yielded rather scattered zircon age information, but obtained a main body zircon SHRIMP U-Pb age of (289 ± 13) Ma (95% confidence, MSWD = 4.9, n = 8), which is interpreted as the formation age of the host intrusive. The disseminated ores give an apparent Re-Os isochron age of (413 ± 20) Ma with an initial $^{187}Os/^{188}Os$ ratio of (0.226 ± 0.032). However, it is found that the apparent Re-Os isochron ages of disseminated ores are older than both the formation age of the host intrusions and the ages of Pobei No. 10 mafic-ultramafic emplacement strata, which indicates that the apparent Re-Os isochron ages of disseminated ores are not reliable. It is suggested that the Pobei No. 10 mafic-ultramafic body and the deposit were formed at about 280 Ma ago. Because of heterogeneity in initial $^{187}Os/^{188}Os$ ratios of disseminated ores caused by crust contamination, the apparent dates older than the true age were obtained. Cu-Ni mineraliztion shows a close time-space relationship with the mafic-ultramafic intrusive body, implying a product of magmatic liquation. It is therefore concluded that the intrusion of Pobei No. 10 mafic-ultramafic rock body and the related minealization occurred in a post-orogenic dynanmic setting in Late Carboniferous-Early Permion.

Key words: geochemistry, Pobei No. 10 mafic-ultramafic body, zricon SHRIMP U-Pb age, Re-Os age, Sr-Nd isotope, Xinjiang

新疆坡北基性-超基性岩带是在执行国家 305 项目Ⅲ9 专题过程中，于 1989 年发现的。该岩带位于塔里木板块东北部北山裂谷带内，长约 16 km，宽约 8 km。目前已发现基性-超基性杂岩体 20 余个，是新疆重要的铜镍成矿远景区之一。10 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形成的不同岩相组成。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具有代表性的岩体之一。前人（高怀忠，1992；李鸿儒，1994；杨甲全等，2002）根据岩体侵位的地层时代，间接推断该岩体形成的时间为中晚石炭世，并对岩带的地质、控矿构造和含矿性等特征以及找矿方向做过不同程度的研究，但有关岩体的同位素定年及同位素地球化学方面的研究涉及甚少。近年来，李华芹等（2006）和姜常义等（2006）对坡北岩带的 1 号岩体和中坡山北镁铁质岩体的锆石用 SHRIMP U-Pb 法和颗粒锆石熔溶 U-Pb 法进行了定年，获得坡北 1 号岩体锆石的微区原位 U-Pb 年龄为（278 ± 2）Ma，中坡山北岩体的颗粒熔融法锆石 U-Pb 谐和年龄为（274 ± 4）Ma。这些新的同位素年龄数据，对精确厘定坡北岩带基性-超基性岩体的形成时代和赋存在基性-超基性杂岩体中的岩浆型铜镍硫化物矿床的成矿时代提供了可靠的依据。本文对 10 号岩体辉长岩相中锆石和浸染状铜镍硫化物矿石分别用 SHRIMP U-Pb 和 Re-Os 等时线法进行了年代学及 Sr-Nd 同位素示踪地球化学研究，并对年龄的地质意义进行了讨论。该成果对进一步深入研究坡北岩带的岩浆-构造演化和成矿作用具有重要意义。

1 岩体地质特征

坡北基性-超基性岩带位于北山裂谷带内，受北东向的白地洼断裂控制。坡北 10 号岩体位于该岩带中段，侵位于下石炭统红柳园组，岩体东西长约 2 km，南北宽约 1.6 km，出露面积约 3.2 km^2。其中，超镁铁岩相呈 NEE 走向的不规则椭圆状，集中分布于岩体中心偏南的负地形中，多被第四系覆盖。

坡北 10 号岩体主要由幔源岩浆经深部分异，经 3 个阶段侵位而形成的不同岩相构成（图 1）。第一阶段为辉长岩相、橄榄辉长岩相；第二阶段为斜长单辉橄榄岩相；第三阶段为单辉橄榄岩、单辉辉石岩相。其中，第一阶段形成的基性岩相分布于岩体边部，超基性岩相分布于岩体中部，各相与超镁铁岩相的接触部分蚀变强烈，并形成了矿化蚀变带。3 个阶段的主要蚀变类型有蛇纹石化、滑石化、透闪石化、绿泥石化。含矿岩石主要为橄榄岩和橄榄辉长苏长岩，金属矿物以褐铁矿为主，偶见原生黄铜矿、镍铁矿及孔雀石。矿石镍品位一般为 0.11 %～0.50 %，局部可达 0.96 %；铜品位为 0.06 %～0.20 %；钴品位为 0.01 %～0.19 %。

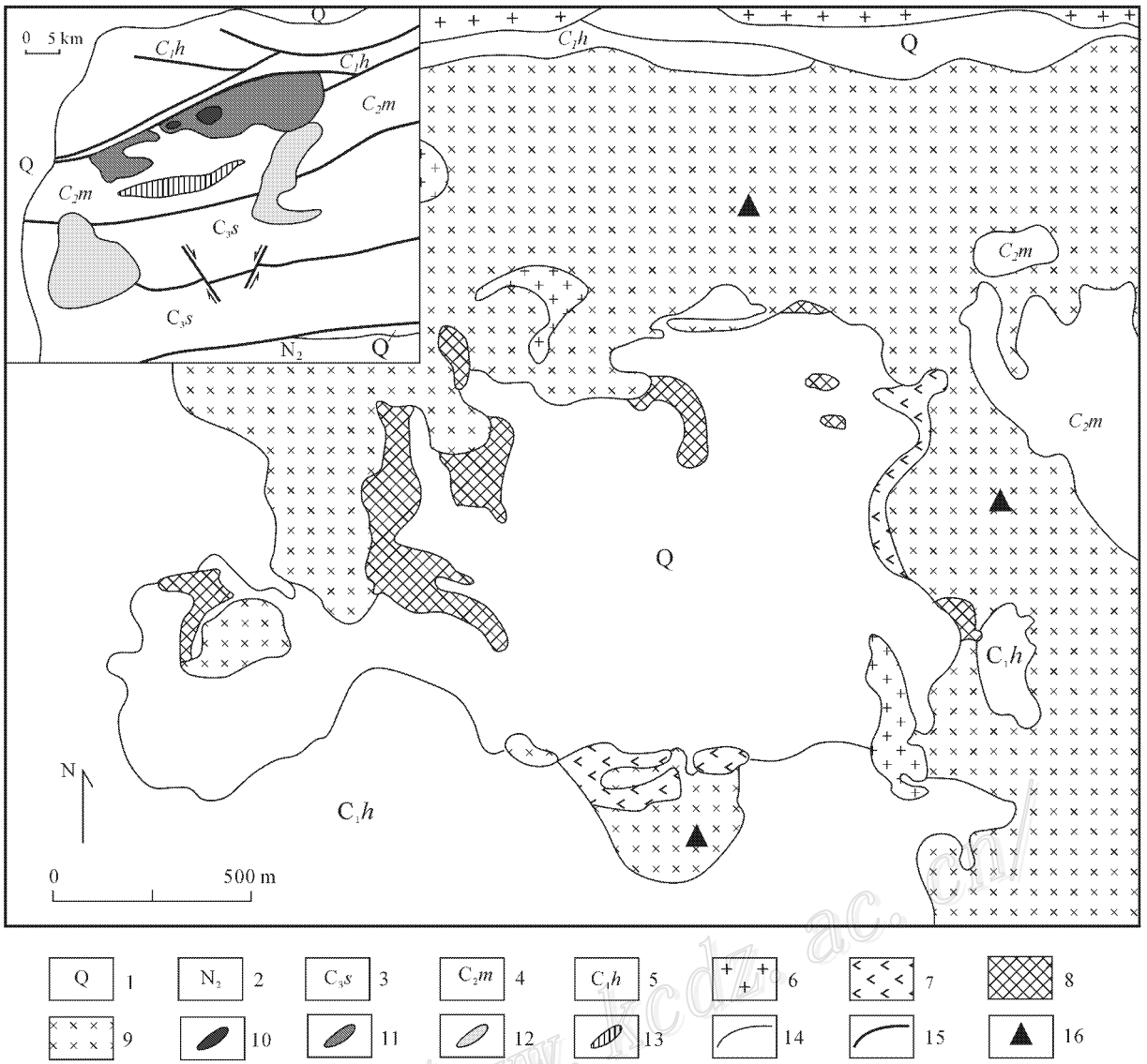


图 1　若羌县坡北 10 号岩体地质简图(据陈毓川等,2007)

1—第四系；2—上新统；3—上石炭统胜利泉组；4—中石炭统茅头山组；5—下石炭统红柳园组；6—花岗岩；7—辉石岩；8—橄榄岩；9—辉长岩、橄榄辉长岩；10—超基性岩；11—华力西晚期中基性岩；12 —辉长岩；13—辉绿岩脉；14—地层界线；15—断裂；16—锆石和 Sr-Nd 同位素取样点

Fig. 1　Geological sketch map of Poshi rock body in Ruoqiang County(after Chen et al. ,2007)

1—Quaternary；2—Pliocene；3—Upper Carboniferous Shengliquan Formation；4—Middle Carboniferous Maotoushan Formation；5—Lower Carboniferous Hongliuyuan Formation；6—Granite；7—Pyroxenite；8—Peridotite；9—Garrbo, olivine gabbro；10—Ultrabasic rock；11—Late Variscan basic-intermediate rocks；12—Gabbro；13—Diabase vein；14—Geological boundary；15—Fault；16—Zircon and Sr and Nd isotopic sampling point

2　定年样品及分析方法

2.1　样品特征

锆石 SHRIMP U-Pb 定年和 Sr-Nd 同位素测定样品均采自 10 号岩体第一阶段侵入形成的辉长岩体(采样位置见图 1)；Re-Os 等时线定年的 6 个浸染状矿石样品采自坡北 10 号岩体的 ZK4-1 钻孔中的 463～657 m 位置。辉长岩为中粒结构，蚀变较为强烈，主要表现为蛇纹石化、透闪石化和绿泥石化。锆石矿物按常规矿物分离方法进行分离。

2.2　分析方法

2.2.1　锆石 SHRIMP U-Pb 分析方法

锆石 SHRIMP U-Pb 定年法参见文献(Comp-

ston et al.,1992;Williams et al.,1987;宋彪等,2002;刘敦一等,2003)。按常规的方法从待测样品中分离出纯净锆石,然后在双目镜下手选晶形完好、具有代表性的锆石,与标准锆石(TEM)一起粘贴在环氧树脂靶上,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,根据研究目的确定待测锆石的分析靶位。应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行年龄校正,用另一标准锆石 SL13 标定测定锆石的 U、Th 和 Pb 含量。

2.2.2 Re-Os 同位素分析方法

Re-Os 的同位素测定在中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成。采用卡洛斯管(Carius tube)溶样,以反王水作为溶剂,在 230℃的温度下加热 24 h 使样品分解。Os 的分离和纯化采用蒸馏法,在 105~110 ℃温度下进行,用水吸收蒸馏出的 OsO_4。蒸馏后的残余溶液转化为 5 mol/L 的 NaOH 溶液,并用丙酮萃取和纯化 Re。样品中的 Re、Os 含量测定均采用同位素稀释法,其 Re、Os 含量和同位素组成用美国 TJA 公司生产的 TJAPQExell ICP-MS 电感耦合等离子质谱仪测定。测定过程中通过监测 ^{185}Re 控制 Re 对 Os 的测定的干扰,通过监测 ^{190}Os 控制 Os 对 Re 的测定的干扰。

分析质量用国家标准物质 GBWO4435(HLP)和 GBWO4436(JDC)控制,本实验的全流程空白 Re 为 10 pg,Os 为 1 pg。

2.2.3 Sr-Nd 同位素分析方法

全岩 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素测定方法见文献李华芹等(1998)。Rb、Sr、Sm 和 Nd 含量及同位素比值采用同位素稀释法和质谱直接测定。Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素分析在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所同位素实验室 N-Triton 可调多接收固体质谱仪上完成。用国际标准物质 NBS987 和工作标准物质 $JMCNd_2O_3$ 监控仪器工作状态,用 Rb-Sr 年龄国家一级标准物质(GBW0411)和 Sm-Nd 年龄国家一级标准物质(GBW04119)监控分析流程。全部操作均在净化柜里进行,使用的全部器皿均由铂金、氟塑料和高纯石英制成;所用高纯试剂经亚沸蒸馏,其 Rb-Sr 和 Sm-Nd 的全流程空白分别为 0.1~0.3 ng 和 10~20 pg。

3 测定结果

3.1 锆石 SHPIMP U-Pb 年龄

表 1 列出了坡北 10 号基性-超基性岩体中辉

表 1 坡北 10 号基性-超基性岩体中辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定数据

Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb data of gabbro from Pobei No. 10 mafic-ultrmafic body

测点	$^{206}Pb_c$ /%	w(U) /10^{-6}	w(Th) /10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	w($^{206}Pb^*$) /10^{-6}	年龄/Ma	年龄/Ma	$^{207}Pb^*/^{235}U$	± %	$^{206}Pb^*/^{238}U$	± %
PB2-1-1.1	0.67	867	546	0.65	87.4	723.0±16.0		0.897	3.2	0.11651	0.63
PB2-1-2.1	0.33	809	502	0.64	61.8	554.0±13.0		0.708	2.2	0.08871	0.62
PB2-1-3.1	0.53	452	147	0.34	33.9	548.0±13.0		0.675	3.0	0.08695	0.66
PB2-1-4.1	1.28	261	103	0.41	11.2	316.3±8.2		0.340	7.5	0.04937	1.4
PB2-1-5.1	1.21	208	127	0.63	13.9	485.0±12.0		0.532	6.9	0.07671	1.0
PB2-1-6.1	0.22	243	279	1.18	16.7	494.0±12.0		0.594	3.3	0.0797	2.4
PB2-1-7.1	0.04	173	163	0.97	75.2		2559±9.8	11.88	3.0	0.506	2.9
PB2-1-8.1	0.30	205	34	0.17	25.5	864.0±19.0		1.374	3.4	0.1446	2.9
PB2-1-9.1	0.10	454	139	0.32	26.3	416.1±9.5		0.515	3.3	0.0672	2.9
PB2-1-10.1	0.24	222	111	0.52	9.44	308.0±7.3		0.350	4.1	0.0493	3.0
PB2-1-11.1	0.32	154	24	0.16	20.8	931.0±26.0		1.450	4.2	0.1567	3.4
PB2-1-12.1	0.31	169	71	0.44	6.27	270.0±7.5		0.313	6.0	0.0431	3.3
PB2-1-13.1	0.16	174	65	0.38	7.26	302.2± 7.3		0.337	5.4	0.0484	3.0
PB2-1-14.1	0.23	146	68	0.48	5.42	270.4± 7.0		0.308	5.5	0.0432	3.1
PB2-1-15.1	0.19	294	178	0.63	11.7	287.9±6.9		0.321	4.4	0.0461	3.0
PB2-1-16.1	0.00	225	119	0.55	9.39	304.0±7.3		0.356	4.1	0.0487	3.0
PB2-1-17.1	0.00	475	393	0.85	33.9	511.0±28.0		0.690	7.0	0.0832	6.0
PB2-1-18.1	1.43	115	88	0.79	4.37	273.1±7.1		0.320	10	0.0436	3.2
PB2-1-19.1	0.48	160	210	1.36	9.96	444.0±11.0		0.587	4.9	0.0720	3.1
PB2-1-19.2	0.51	202	178	0.91	11.8	417.4±9.9		0.503	4.8	0.0675	3.0
PB2-1-7.2	0.04	139	194	1.44	55.1		2589±12	11.02	3.0	0.461	2.9
PB2-1-20.1	0.25	286	132	0.48	11.8	298.4±7.1		0.349	4.3	0.0478	3.0
PB2-1-21.1	0.48	222	114	0.53	11.6	374.8±8.9		0.444	4.3	0.0604	3.0

http://www.kcdz.ac.cn

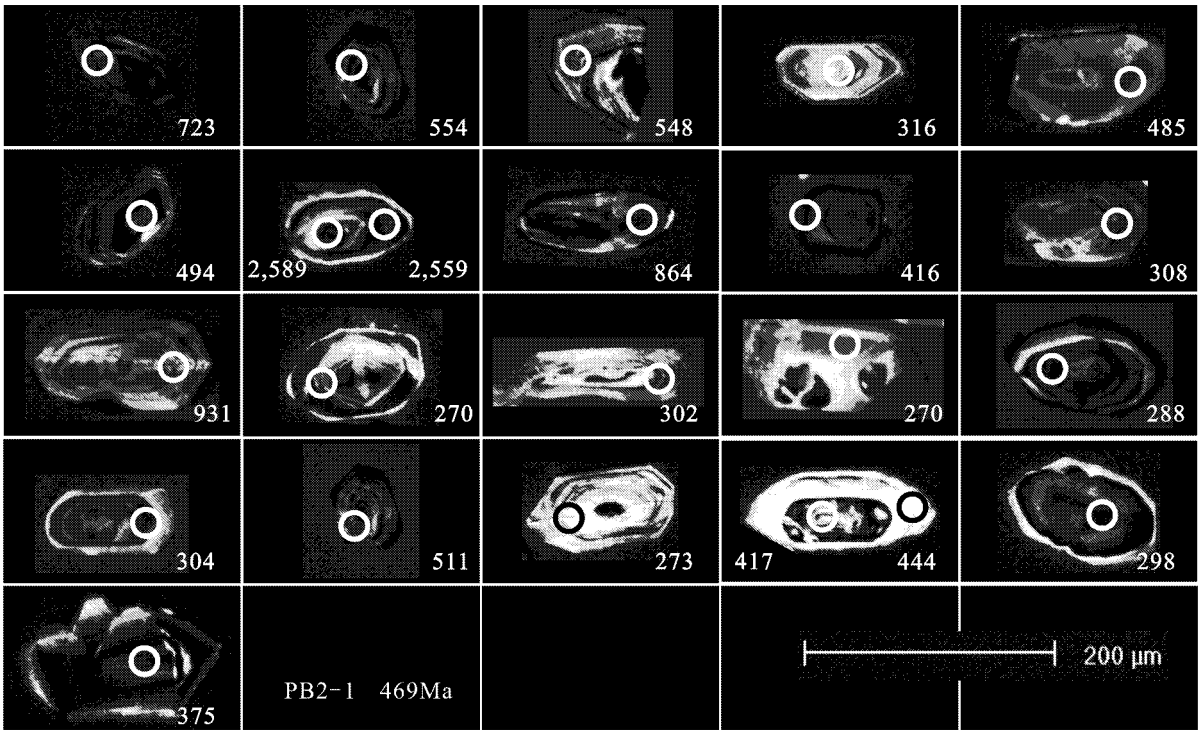


图 2　坡北 10 号岩体辉长岩被测锆石的阴极发光(CL)图像及测定点位和相应的$^{206}Pb/^{238}U$ 视年龄

Fig. 2　CL images, localities of SHRIMP measurement points and $^{206}Pb/^{238}U$ apparent ages of zircon from gabbro of Pobei No. 10 mafic-ultramafic body

长岩的锆石 U-Pb 定年结果，图 2 为被测锆石的阴极发光(CL)图像及测定点位和相应的$^{206}Pb/^{238}U$ 视年龄。由表 1 数据可以看出，在 23 个测点中除 PB2-1-8.1 和 PB2-1-11.1 的 Th/U 比值小于 0.3 外，其余测点的 Th/U 比值均大于 0.3。在阴极发光图像中，被测锆石内部均显示较清晰的震荡环带结构(图 2)，表明锆石为较典型的岩浆结晶。但从同一岩体中分离出的锆石所测量的年龄相当分散，所获得的 23 颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄信息从古生代—新元古代—古元古代—新太古代均有显示。在$^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$ 谐和图上样品点投影大致落在 4 个时间区域内(见表 1、图 3)，所测锆石主体的$^{206}Pb/^{238}U$ 统计权重平均值为(289 ± 13) Ma(95% 可信度，MSWD = 4.9，n = 8)，其余 3 组$^{206}Pb/^{238}U$ 统计权重平均值年龄分别为(424 ± 37) ~ (517 ± 42) Ma(95% 可信度)、(864.0 ± 19.0) ~ (931.0 ± 26.0) Ma 和(2 559 ± 9.8) ~ (2 589 ± 12) Ma(表 1)。根据样品的分布和代表性及矿区的地质特征推断，(289 ± 13) Ma 可能代表了坡北 10 号基性-超基性岩体形成的时间，其余几组年龄所代表的确切地质意义将在本文的有关章节中讨论。

3.2　Re-Os 年龄

坡北 10 号岩体浸染状铜镍硫化物矿石测定结果列于表 2。Re 含量为 0.298×10^{-9} ~ 12.360×10^{-9}，Os 含量为 0.0167×10^{-9} ~ 3.6090×10^{-9}。采自同一钻孔不同空间位置的 6 个浸染状矿石样品的$^{187}Re/^{188}Os$和$^{187}Os/^{188}Os$ 同位素比值变化范围分别为：16.720 ~ 144.75 和 0.3358 ~ 1.2260，6 个点所拟合的直线具有良好的线性关系(MSWD = 5.1)，用 Isoplot 2.06 计算获得相应的 Re-Os 等时线年龄为(413 ± 20) Ma(95% 可信度，MSWD = 5.1，n = 6)，初始$^{187}Os/^{188}Os$ 比值为 0.226 ± 0.032(95 % 可信度)(图 4)。

3.3　Sr-Nd 同位素测定结果

基性-超基性岩带的坡北 1 号岩体和 10 号岩体辉长岩相的 Sr-Nd 同位素组成测定结果见表 3。以辉长岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄 278 Ma 和 289 Ma 分别代表坡北 1 号岩体和 10 号岩体的成岩年龄，计算出坡北 1 号岩体的 3 个辉长岩样品的 ε_{Sr}(278 Ma)分布范围为 22.7 ~ 23.8，ε_{Nd}(278 Ma) 为 2.6 ~ 2.8，坡北 10 号岩体的 3 个辉长岩样品的

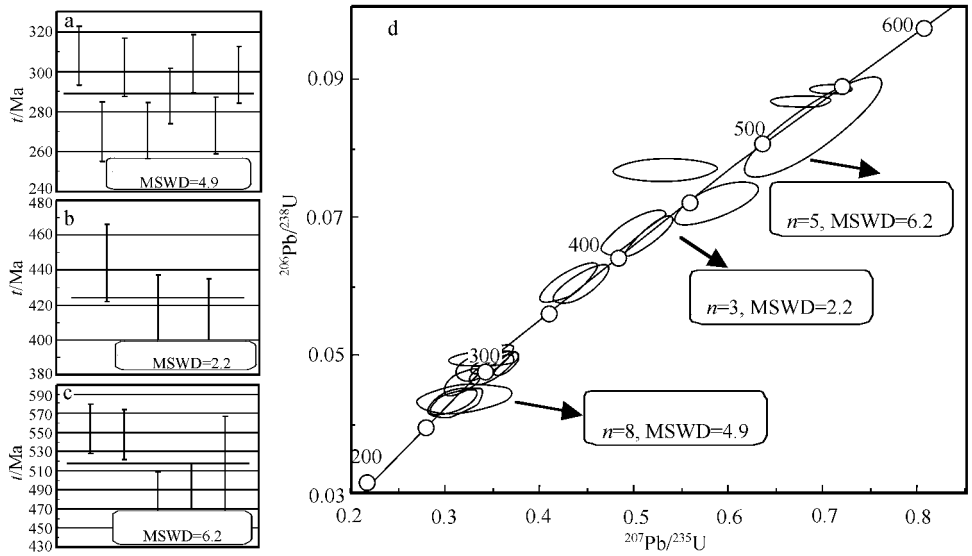


图 3 坡北 10 号基性-超基性岩体中辉长岩中锆石$^{206}Pb/^{238}U$年龄加权平均图(a、b、c)与 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图(d)

Fig. 3 Weighted average of $^{206}Pb/^{238}U$ age (a, b, c) and U-Pb concordia diagram of zircon (d) for gabbro from Pobei No. 10 mafic-ultramafic body

表 2 坡北 10 岩体浸染状铜镍硫化物矿石的 Re、Os 含量和 Os 同位素组成分析结果

Table 2 Re and Os concentrations and isotopic composition of disseminated Cu-Ni sulfide ores from Pobei No. 10 body

样品号	样重/g	$w(Re)/10^{-9}$	$w(Os_{普})/10^{-9}$	$w(^{187}Os)/10^{-9}$	$w(^{187}Re)/10^{-9}$	$^{187}Re/^{188}Os$	$^{187}Os/^{188}Os$
PB1-1	0.301	12.360±0.100	3.6090±0.0290	0.16120±0.00360	7.7370±0.0012	16.720±0.180	0.3358±0.0073
PB1-2	2.008	1.087±0.017	0.1461±0.0012	0.00940±0.00019	0.6810±0.0001	35.077±0.630	0.4845±0.0095
PB1-4	1.004	5.761±0.044	0.2072±0.0019	0.03137±0.00040	3.6060±0.0006	130.650±1.600	1.1370±0.0140
PB1-5	1.501	4.672±0.046	0.1518±0.0012	0.02476±0.00023	2.9240±0.0005	144.750±1.900	1.2260±0.0083
PB1-6	2.001	2.093±0.019	0.1023±0.0009	0.01206±0.00019	1.3100±0.0002	96.320±1.300	0.8868±0.0140
PB1-9	2.007	0.298±0.004	0.0167±0.0002	0.00174±0.00003	0.1867±0.0001	84.860±1.400	0.7914±0.0120

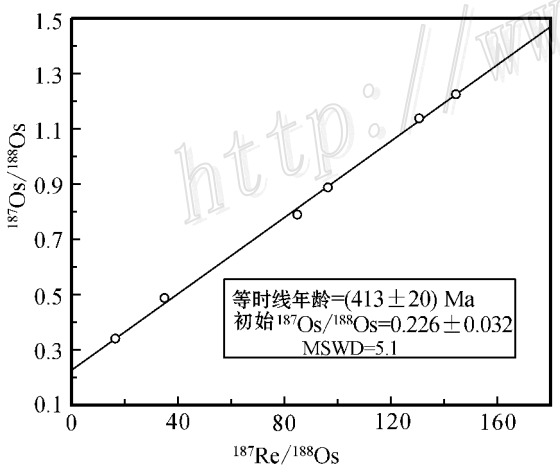


图 4 坡北 10 岩体浸染状铜镍硫化物矿石的 Re-Os 等时线图

Fig. 4 Re-Os isochrons of disseminated ores from Pobei No. 10 body

ε_{Sr}(289 Ma)分布范围为1.2～1.6，ε_{Nd}(289 Ma)为4.0～4.1，结果显示坡北基性-超基性岩带的 1 号和 10 号岩体均具有相对低的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和相对高的 $\varepsilon_{Sr}(t)$值特征，但与新疆北部喀拉通克、黄山、黄山东和兴地 2 号基性-超基性岩体的$\varepsilon_{Sr}(t)$和$\varepsilon_{Nd}(t)$值的特征有一定的差异(李华芹等，1998)。

4 讨 论

近年来，锆石微区 SHRIMP U-Pb、Re-Os 等时线定年在研究基性-超基性岩铜镍硫化物矿床的成岩成矿时代方面取得了新的进展。如毛景文等(2002)、张作衡等(2005)、李月臣(2006)等对新疆阿勒泰南缘的喀拉通克、东天山地区的黄山东和香山铜镍硫化物矿床开展了 Re-Os 等时线定年，获得块状硫化物矿石的年龄为 298～282 Ma；而另一些研

究者（韩宝福等，2004；吴华等，2005；李华芹等，2006 姜常义等，2006；李锦轶等，2006；毛启贵等，2006）对与矿化有关的岩体（喀拉通克、黄山、黄山东、白石泉、坡北 1 号、海豹滩和哈特卡尔等）获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 285～274 Ma，表明阿勒泰南缘和东天山地区的含矿岩体形成时代基本一致，即形成于石炭纪末至早二叠世时间域内。

本研究对坡北基性-超基性岩带的 10 号岩体辉长岩和浸染状矿石分别进行了锆石 SHRIMP U-Pb、Re-Os 定年和 Sr-Nd 同位素示踪研究，获得岩体的辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄信息比较分散，所测定的 23 颗锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄信息从古生代—新元古代—古元古代—新太古代均有显示，在$^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$谐和图上测点的投影大致分布在 4 个时间域范围内（图 3，表 1），但所测锆石$^{206}Pb/^{238}U$比值的主体年龄为（289 ± 13）Ma（95% 可信度），其余 3 组$^{206}Pb/^{238}U$年龄分别为 424～517 Ma，864～931 Ma 和 2 559～2 589 Ma。测定结果表明坡北 10 号岩体中存在不同时代锆石，揭示了新疆塔里木板块东北部北山裂谷带内的基性-超基性岩体的形成经历了复杂的地质演化历史。（289 ± 13）Ma（95% 可信度）的年龄可能代表了岩体形成的时间，它与岩体侵位于下石炭统红柳园组的地质事实相吻合。而年龄信息（2 559～2 589 Ma）暗示了北山地区可能存在古元古代—新太古代的结晶基底，其余的年龄信息所代表的确切地质意义有待于进一步的研究。

本次获得浸染状铜镍硫化物矿石的 Re-Os 等时线年龄为（413 ± 20）Ma（95% 可信度，MSWD = 5.1），该年龄不仅大于含矿超基性岩体的形成时代（289 Ma），而且也老于岩体所侵入的下石炭统红柳园组的地层时代，显然与宏观的地质证据相悖。由于铜镍硫化物矿床与基性-超基性岩带关系密切，岩带实际上就是矿带，因此，浸染状铜镍硫化物矿石的年龄不能代表矿床的形成时代。前人相关的研究工作也出现类似现象，如近年来 Yang 等（2005）、杨胜洪等（2007）和张宗清等（2004）对金川铜镍硫化物矿床中不同矿石结构的浸染状矿石、海绵陨铁状矿石和块状矿石的 Re-Os 定年的研究，结果发现浸染状矿石的 Re-Os 年龄〔（1 126 ± 96）Ma〕比海绵陨铁状矿石〔（1 043 ± 28）Ma〕和块状矿石〔（840 ± 79）Ma，（833 ± 35）Ma〕的年龄都要偏老，只有块状矿石的 Re-Os 年龄与闫海卿等 2005 年所报道的金川矿区基性-超基性岩体锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄（约 837 Ma）一致。以上研究还发现，这种年龄变化的趋势恰好与矿石中硫化物含量相关，即随着硫化物矿物含量的增加，从浸染状矿石→海绵陨铁状矿石→块状矿石的表观年龄有逐渐变小的规律。造成海绵陨铁状和浸染状矿石年龄老于实际成矿年龄的主要原因，可能是在成岩成矿时，幔源岩浆从源区侵入地壳过程中，受到地壳物质的混染，导致浸染状和海绵状矿石的 Os 同位素不均一，从而导致浸染状矿石和海绵陨铁状矿石所拟合的等时线可能是假等时线（杨胜洪等，2007）。

为了探索坡北 10 号岩体的岩浆从地幔侵入地壳的过程中是否也受到地壳物质的混染，将所获得的 Re-Os 同位素数据做初始$^{187}Os/^{188}Os$-1/Os 图解，以含矿岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄代表成岩和成矿时代，初始比值计算以 289 Ma 作为参考值，6 个浸染状矿石的数据点近似呈线性排列（图 5），这种线性排列显示出混合性特征，表明岩浆（地幔）Os 和地壳 Os 混合后，没有达到均一化。它也与坡北岩带的 1 号和 10 号岩体的 Sr-Nd 同位素具有低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 和高 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 的特征一致（表 2），但它们的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值都低于喀拉通克、黄山和黄山东岩体，而 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 值均比上述岩体高（表 3、图 5）。从图 6 可见，喀拉通克岩体岩浆来源于亏损地幔源区，在岩体侵位过程中受到了少部分上地壳物质的混染，黄山、黄山东主岩及超镁铁岩系和铜镍矿床成矿物质均来源于亏损地幔源区，但数据投影点略有分散，导致在 $\varepsilon_{Sr}(t)$-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 图解上数据分散或偏高，远离亏损地幔演化线，可能反映了地幔的不均一性，或反映了从亏损地幔衍生的岩浆受到了地壳物质轻微的混染。而坡北 1 号和 10 号岩体的 Sr-Nd 同位素组成与喀拉通克、黄山和黄山东基性-超基性岩体的 Sr-Nd 同位素组成有明显的差别，$\varepsilon_{Sr}(t)$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 对的投影点均落在Ⅰ象限，尽管它们的母岩浆也来源于亏损地幔源区，但可能揭示了坡北岩带在约 280 Ma 前成岩成矿时，岩浆在从地幔源区侵入到地壳过程中受到了比喀拉通克、黄山和黄山东岩体更多的地壳物质混染，致使浸染状矿石的 Re-Os 同位素体系呈二元混合体系，因此由浸染状矿石所拟合的等时线应疑为假等时线，年龄不具有确切的地质意义。鉴于铜镍矿化无论从时间上还是空间上都与岩体的侵位密切相关，矿床成因类型又为岩浆熔离型矿床，因此，坡北10号铜

表 3 坡北 1 号和坡北 10 号基性-超基性岩体 Sr-Nd 同位素组成

Table 3 Sr and Nd concentrations and isotopic composition of Pobei No. 1 and No. 10 mafic-ultramafic body

采样位置	样品名称	$w(Rb)/10^{-6}$	$w(Sr)/10^{-6}$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr\pm2\sigma$	$\varepsilon_{Sr}(t)$
坡北 10 号	辉长岩	4.739	329.4	0.04146	0.70442±1	1.3
坡北 10 号	辉长岩	4.670	330.6	0.04071	0.70444±4	1.6
坡北 10 号	辉长岩	4.620	328.8	0.04050	0.70441±1	1.2
坡北 1 号	辉长岩	8.490	253.9	0.09638	0.70617±5	22.9
坡北 1 号	辉长岩	8.613	253.6	0.09789	0.70624±4	23.8
坡北 1 号	辉长岩	8.516	253.4	0.09689	0.70616±2	22.7
采样位置	样品名	$w(Sm)/10^{-6}$	$w(Nd)/10^{-6}$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd\pm1\sigma$	$\varepsilon_{Nd}(t)$
坡北 10 号	辉长岩	0.5643	1.710	0.1996	0.512850±20	4.0
坡北 10 号	辉长岩	0.5664	1.726	0.1985	0.512850±20	4.1
坡北 10 号	辉长岩	0.5640	1.707	0.1999	0.512850±20	4.0
坡北 1 号	辉长岩	0.7943	2.186	0.2198	0.512818±10	2.7
坡北 1 号	辉长岩	0.7938	2.177	0.2207	0.512819±9	2.6
坡北 1 号	辉长岩	0.7906	2.172	0.2202	0.512825±13	2.8

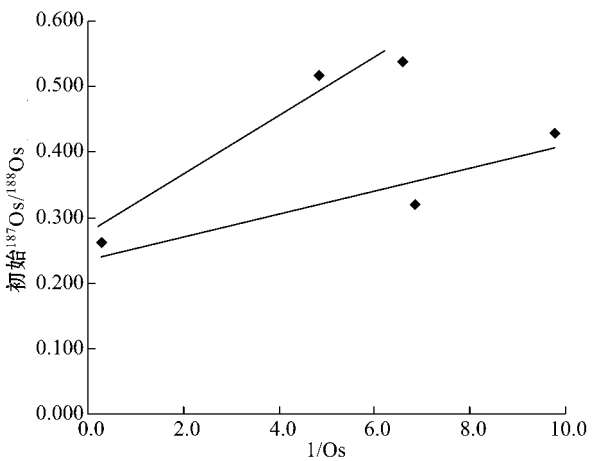


图 5 坡北 10 号基性-超基性岩体浸染状铜镍硫化物矿石的初始$^{187}Os/^{188}Os$与 1/Os 的相关性

Fig. 5 Correlation of initial $^{187}Os/^{188}Os$ and reciprocal of 1/Os concentration of disseminated Cu-Ni sulfide ore from Pobei No. 10 mafic-ultramafic body

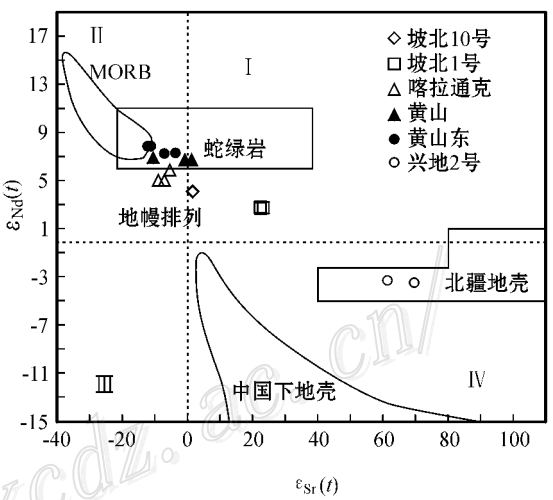


图 6 新疆北部部分基性-超基性岩体 $\varepsilon_{Sr}(t)$-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 图解(据 Zhu 等,2001)

(注 喀拉通克、黄山、黄山东、兴地Ⅱ号的数据来自李华芹等 1998)

Fig. 6 $\varepsilon_{Sr}(t)$ versus $\varepsilon_{Nd}(t)$ plot of some mafic-ultramfic bodies in northern Xinjiang (after Zhu et al., 2001)

镍硫化物矿床的成岩成矿时间均应发生在晚石炭世—早二叠世,是后碰撞构造背景下幔源岩浆上侵的产物(韩宝福等,1995;李锦轶等,2006;张作衡等,2007)。

5 结 论

(1) 坡北 10 号基性-超基性岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定结果表明,年龄信息从古生代—新元古代—古元古代—新太古代均有显示,同一岩体中有不同时代锆石的存在,揭示了新疆塔里木板块东北部的北山裂谷带内的基性-超基性岩带的形成经历了复杂的地质演化历史。岩体中锆石主体年龄(289±13) Ma(95%可信度)可能代表了岩体的形成时间,而古元古代—新太古代的年龄信息(2 559~2 589 Ma)则可能暗示了北山地区存在古元古代—新太古代的结晶基底,其余的年龄信息所代表的确切地质意义有待进一步研究。

(2) 浸染状矿石的 Re-Os 等时线年龄[(413±20) Ma]不仅大于含矿超基性岩体(289 Ma)的侵位时代,而且也老于岩体所侵入的下石炭统红柳园组

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

的地质时代，与宏观的地质证据相悖，浸染状铜镍硫化物矿石的 Re-Os 等时线年龄不能代表矿床的形成时代。其年龄偏老的原因，可能是由于约在 280 Ma 前矿床形成时，岩浆从源区（幔源）侵入地壳过程中受到了地壳物质的混染，导致浸染状矿石的初始 Os 同位素组成不均一。初始 $^{187}Os/^{188}Os$-1/Os 图解和 Sr-Nd 对同位素示踪研究，为浸染状矿石的 Re-Os 等时线疑为假等时线提供了证据。

（3）Sr-Nd 对同位素示踪研究表明，坡北岩带的 1 号、10 号岩体的 Sr-Nd 同位素组成与喀拉通克、黄山和黄山东基性-超基性岩体的 Sr-Nd 同位素特征有明显的差别，前者在 $\varepsilon_{Sr}(t)$-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 的图解上投影均分布于Ⅰ象限内，后者投影点均分布在Ⅱ象限内，这一特征揭示了岩体约在 280 Ma 前从亏损地幔源区侵入到地壳过程中受到了较之喀拉通克、黄山和黄山东岩体更多的地壳物质混染。

（4）铜镍矿化无论从时间上还是空间上都与岩体的侵位密切相关，而矿床成因类型又为岩浆熔离型矿床，表明坡北 10 号铜镍硫化物矿床的成岩成矿时间均应发生在晚石炭世—早二叠世，是后碰撞构造背景下幔源岩浆上侵的产物。

志 谢 野外工作期间得到新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队吴华队长、程松林总工程师和杨甲全高级工程师等人的大力支持，锆石 SHRIMP U-Pb 定年得到万渝生研究员、苗来成副研究员和颉颃强博士的帮助，成文过程中与王登红研究员进行过有益的讨论，成文后承蒙朱永峰教授、张作衡研究员提出了宝贵的修改意见，在此一并表示衷心的感谢！

References

Chen Y C, Liu D Q, Tang Y L, Wang D H, Zhou R H, Wang J L, Li H Q and Wang X D. 2007. Research on large scale ore concentration area of strategic mineral resources in Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 294-307 (in Chinese with English abstract).

Compston W, Williams I S and Kirschvink J L. 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 intrusive body and its ore potentiality, Pobei, Xinjiang [J]. Earth Science——Journal of China University of Geogciences, 17(4): 391-401 (in Chinese with English abstract).

Han B F, He G Q, Wang S H and Hong D W. 1998. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in north Xinjiang [J]. Geological Review, 44(4): 67-72 (in Chinese with English abstract).

Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Li Z H. 2004. SHRIMP U-Pb ircon age of the mafic-ultramafic rock s and geo logical significance in the Karatungk and Huangshandong, Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 49 (22): 2324-2328 (in Chinese).

Jiang C Y, Cheng S L, Ye S F, Xia M Z, Jiang H B and Dai Y C. 2006. Lithogeochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body, at Beishan region, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (1): 115-126 (in Chinese with English abstract).

Li H R. 1994. Rock-controlling structure of the pubei 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 [J]. Beijing: Geol. Pub. House. 189-221 (in Chinese with English abstract).

Li H Q, Chen F W, Mei Y P, Wu H, Cheng S L, Yang J Q and Dai Y C. 2006. Isotopic ages of No. 1 intrusive body in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and their geological significance [J]. Mineral Deposits, 25(4): 463-469 (in Chinese with English abstract).

Li J Y, Song B, Wang K Z, Li Y P, Sun G H and Qi D Y. 2006. Permian mafic-ultramafic complexes on the southern margin of the Tu-Ha basin, east Tianshan Mountains: Geological records of vertical crustal growth in Central Asian [J]. Acta Geoscintica Sinica, 27(5): 424-466 (in Chinese with English abstract).

Li Y C, Zhao G H, Qu W J, Pan C Z, Mao Q G and Du A D. 2003. Re-Os isotopic dataing of the Xiangshan deposit, east Tianshan, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 245-251 (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 Ophidite Inner Mongdia: Evidence for the early Paleozoic subduction [J]. Acta Geological 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).

Mao Q G, Xiao W J, Han C M, Sun M, Yuan C, Yan Z, Li J L, Yong Y and Zhang J E. 2006. Zircon U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the eastern Tianshan, Xinjiang Province: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 153-162 (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).

Williams I S and Clacsson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian

Province and Caledonian metamorphism of high grade paragnecis from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: Ⅱ. Lon Microprobe zicron 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 G, Du A D, Lu J E, Qu W J and Chen J F. 2005. Re-Os(ICP-MS) dating of the massive sulfide ores from the Jinchuan Ni-Cu-PGE deposit[J]. Science in China(Series D), 48(10): 1672-1677.

Yan H Q, Su S G, Jiao J G and Tang H. 2005. Metallogenetic epoch of Jinchuan Cu-Ni(PGE) magmatic sulfide deposit[J]. Earth Science Frontiers, 12(2): 309-315(in Chinese with English abstract).

Yang J Q, Zhong L and Deng G. 2002. Metallogenic 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).

Yang S H, Chen J F, Qu W J, Yang G and Du A D. 2007. Re-Os ages of Jinchuan copper-nickel sulfide deposit and their significance[J]. Geochemica, 36(1): 27-36(in Chinese with English abstract).

Zhang Z Q, Du A D, Tang S H, Lu J R, Wang J H and Yang G. 2004. Age of the Jinchuan copper-nickel deposit and isotopic geochemical feature of its source[J]. Acta Geologica Sinica, 78(3): 359-365(in Chinese with English abstract).

Zhang Z H, Chai F M, Du A D, Zhang Z H, Yan S H, Yang J M, Qu W J and Wang Z L. 2005. Re-Os dating and trace on the ore-forming materials for Cu-Ni sulfide ores of the Karatungk deposit in northern Xinjiang[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(4): 285-293(in Chinese with English abstract).

Zhang Z H, Wang Z L, Wang Y B, Zuo G H, Wang L S and Lü L S. 2007. Shrimp zircon U-Pb dating of diorite from Qingbulake basic complex in western Tianshan Mountains of Xinjiang and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(4): 353-360(in Chinese with English abstract).

Zhu B Q, Zhang J L, Tu X L, et al. 2001. The Pb, Sr and Nd isotopic features in organicmatter from China and their implications for petroleum generation and migration[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 65(15): 2555-2570.

附中文参考文献

陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 王登红, 周汝洪, 王金良, 李华芹, 王晓地. 2007. 中国新疆战略性固体矿产大型矿集区研究[M]. 北京: 地质出版社. 294-307.

高怀忠. 1992. 新疆坡北基性-超基性岩带 1 号岩体地质特征及其含矿性研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 17(4): 391-401.

韩宝福, 何国琦, 王式洸, 洪大卫. 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(4): 67-72.

韩宝福, 季建清, 宋 彪, 陈立辉, 李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 49(22): 2324-2328.

姜常义, 程松林, 叶书锋, 夏明哲, 姜寒冰, 代玉财. 2006. 新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体岩石地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 22(1): 115-126.

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. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 189-221.

李华芹, 陈富文, 梅玉萍, 吴 华, 程松林, 杨甲全, 代玉财. 2006. 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[J]. 矿床地质, 25(4): 463-469.

李锦轶, 宋 彪, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 齐得义. 2006. 天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩浆杂岩: 中亚地区陆壳垂向生长的地质记录[J]. 地球学报, 27 (5): 424-446.

李月臣, 赵国春, 屈文俊, 潘成泽, 毛启贵, 杜安道. 2006. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定[J]. 岩石学报, 22(1): 245-251.

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, 杨建民, 屈文俊, 杜安道, 王志良, 韩春明. 2002. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 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.

毛启贵, 肖文交, 韩春明, 孙 敏, 袁 超, 闫 臻, 李继亮, 雍 拥, 张继恩. 2006. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性-超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约[J]. 岩石学报, 22(1): 153-162.

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.

吴 华, 李华芹, 莫新华, 陈富文, 路远发, 梅玉萍, 邓 岗. 2005. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩的形成时代及其地质意义[J]. 地质学报, 79(4): 498-502.

闫海卿, 苏尚国, 焦建刚, 汤 华. 2005. 金川 Cu、Ni(PGE)岩浆硫化物矿床成矿时代研究[J]. 地学前缘, 12(2): 309-315.

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.

杨胜洪, 陈江峰, 屈文俊, 杨 刚, 杜安道. 2007. 金川铜镍硫化物矿床的 Re-Os"年龄"及其意义[J]. 地球化学, 36(1): 27-36.

张宗清, 杜安道, 唐索寒, 卢纪仁, 王进辉, 杨 刚. 2004. 金川铜镍矿床年龄和源区同位素地球化学特征[J]. 地质学报, 78(3): 359-365.

张作衡, 柴凤梅, 杜安道, 张招崇, 闫升好, 杨建民, 屈文俊, 王志良. 2005. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪[J]. 岩石矿物学杂志, 24(4): 285-293.

张作衡, 王志良, 王彦斌, 左国朝, 王龙生, 吕林素. 2007. 新疆西天山菁布拉克基性杂岩体闪长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(4): 353-360.