

谢燮, 杨建国, 王小红, 等. 甘肃北山红柳沟铜镍矿化基性-超基性岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 396-405.

Xie Xie, Yang Jianguo, Wang Xiaohong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Hongliugou mafic-ultramafic complex in the Beishan area of Gansu Province and its geological significance[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 396-405(in Chinese with English abstract).

甘肃北山红柳沟铜镍矿化基性-超基性岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

谢 燮¹ 杨建国¹ 王小红¹ 王 磊¹ 江 磊^{1,2} 姜安定^{1,2}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 红柳沟铜镍矿化基性-超基性岩体位于塔里木板块北缘北山裂谷带, 岩体两侧分别为大山头-岗流脑子、方山口-庙庙井-双鹰山 2 条区域性深大断裂带。岩体侵位于敦煌岩群, 铜镍矿化通常赋存于杂岩体中二辉橄榄岩、橄榄二辉辉长岩、橄榄苏长辉长岩等基性程度较高的岩石内。通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 首次获得红柳沟矿化橄榄角闪辉长苏长岩锆石的 U-Pb 年龄为 (396.7 ± 3.8) Ma, 表明该含矿杂岩体的侵位及矿化作用均发生于中泥盆世, 结合区内已知黑山和怪石山等铜镍含矿岩体年龄, 从而揭示出甘肃北山地区在中-晚泥盆世一直处于陆缘裂谷拉张环境。

关键词: 红柳沟; 基性-超基性岩体; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 中-晚泥盆世

中图分类号: P581; P597; P547 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2015)02-0396-10

Zircon SHRIMP U-Pb dating of Hongliugou mafic-ultramafic complex in the Beishan area of Gansu Province and its geological significance

XIE Xie¹, YANG Jian-guo¹, WANG Xiao-hong¹, WANG Lei¹, JIANG Lei^{1,2}, JIANG An-ding^{1,2}

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Hongliugou copper-nickel mineralized mafic-ultramafic rock is located in the Beishan rift belt on the northern margin of the Tarim plate. There are two regional deep fracture zones in the rock on both sides, i.e., Dashantou-Gangliunaozi and Fangshankou-Miaomiaojing-Shuangyingshan. Rock mass was emplaced in the the Dunhuang rock group, copper-nickel mineralization usually occurs in lherzolite, whereas olivine two-pyroxene monzonite and olivine norite-gabbro. SHRIMP U-Pb dating of zircon from the olivine hornblende gabbro norite yielded an age of (396.7 ± 3.8) Ma, which suggests that both the intrusion of the ore-bearing complex and the mineralization occurred in middle Devonian. Combined with the age of Heishan and Guaishishan copper-nickel ore-bearing rock, it is revealed that Beishan area of Gansu was in a continental margin rift extensional environment in the middle-Late Devonian.

Key words: Hongliugou; mafic-ultramafic rocks; zircon SHRIMP U-Pb age; middle-Late Devonian

收稿日期: 2014-04-30; 改回日期: 2014-07-21

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查专项(12120113046700、121201113047300、1212011085090)联合资助。

作者简介: 谢燮, 1982年生, 男, 工程师, 硕士, 从事于地质找矿与矿床学研究; E-mail: 77867876@qq.com。

About the first author: XIE Xie, male, born in 1982, master candidate, engages in the study of geological prospecting and ore deposits; E-mail: 77867876@qq.com.

北山地区位于塔里木板块东北缘,紧邻东天山造山带,是东天山成矿带的组成部分。北山与东天山地区是中亚造山带南缘镁铁-超镁铁岩体的集中分布区,产有多处岩浆型铜镍硫化物矿床,长期以来受到众多地质学家的关注^[1-11]。北山地区基性-超基性岩体与东天山同样具有钙碱系列的演化趋势、岩体规模较小、多阶段侵入、岩相分带清楚、成群成带产出等特点。近年来,随着东天山图拉尔根、白石泉及新疆北山坡北、旋窝岭、红石山等一批铜镍矿的发现,甘肃北山地区显示出了较大的铜镍成矿潜力,其已成为东天山铜镍成矿带向东寻求突破的重要铜镍找矿靶区,区内先后发现了黑山、怪石山、拾金滩、红柳沟、三个井等含矿岩体,显示出了良好的找矿前景。但北山地区诸多基础地质问题和地质演化至今尚未取得统一认识^[12-14],尤其是对区内基性-超基性岩带的成岩时代、构造背景缺乏研究,从而制约了北山地区岩浆型铜镍硫化物矿床的找矿方向。红柳沟基性-超基性岩体为近年来新发现的铜镍矿化岩体,岩体位于塔里木板块北缘北山裂谷带,侵位受控于庙庙井-双鹰山深大断裂,沿该断裂带向东分布有黑山大型铜镍矿床及怪石山铜镍矿,该岩体规模较大,分异明显,具有较好的找矿潜力。开展红柳沟岩体的年代学研究,对认识北山裂谷的形成与演化及岩体的成岩地质背景具有重要意义。

1 地质背景

甘肃北山地区的地史演化基本可归属一种古陆裂解、增生和向成熟陆壳发展演化模型,其主体系由东天山和塔里木两大古陆系统构成^[14]。红柳沟基性-超基性岩体处于北山中部铜镍成矿带内,大地构造属于塔里木板块北缘北山裂谷带,岩体两侧分别为大山头-岗流脑子、方山口-庙庙井-双鹰山2条区域性深大断裂带。区内出露地层主要为新太古-古元古代敦煌岩群花岗(闪长)质片麻岩、云母石英片岩、变粒岩夹斜长角闪岩、大理岩和石英岩等;长城系古铜井岩群灰绿色绢云石英片岩、二云石英片岩、中薄层状大理岩、磁铁石英岩;蓟县系

平头山组富镁碳酸盐岩夹凝灰质细碎屑岩及少量火山岩建造;青白口系大豁落山组富镁富硅质中厚层碳酸盐建造。区内岩浆岩发育,从超基性-酸性岩均有出露,其中以基性-超基性岩为主,其次为中酸性侵入岩。

2 岩体及矿化特征

红柳沟岩体侵位于敦煌岩群云母石英片岩、黑云花岗片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩中,岩体受方山口-庙庙井-双鹰山大断裂控制,整体呈北西向分布(图1)。岩体以辉长岩为主,出露面积5~20 km²,分异出面积0.1~0.3 km²的基性超基性岩体。辉长岩主要有2期,其中,早期辉长岩为暗色辉长岩,辉石含量一般超过60%;晚期为浅色辉长岩,辉石含量相对较低,含量为30%~40%,两期辉长岩间为侵入接触关系。早期辉长岩根据粒度可划分为3个相带,分别为伟晶状辉长岩、中粒辉长岩和中细粒辉长岩,其中,伟晶状辉长岩经常分布于超基性岩体周围。超基性岩主要有橄榄角闪苏长岩、橄榄辉长苏长岩、辉石岩、二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、辉橄岩、纯橄岩和蛇纹岩等,其多呈小岩株和岩脉产出,岩相分异明显,通常分布于相对低洼处,且处于断裂带中,岩石破碎蚀变较强,呈碎裂状、蜂窝状等。根据野外观察及岩石组合特征,岩体最早侵入的为浅色辉长岩相,其与敦煌群云母石英片岩、黑云花岗片麻岩呈明显的侵入接触,其次为橄榄二辉辉长岩、橄榄岩、辉橄岩、辉石岩、伟晶状辉长岩和纯橄岩等岩相,分期侵入到浅色辉长岩之中。

铜镍矿化通常与分异较好的基性-超基性杂岩体密切相关,主要见于二辉橄榄岩、橄榄二辉辉长岩、橄榄苏长辉长岩(图2),岩石普遍遭受蚀变,呈风化球状,地表断续出露,表面呈灰黑色,块状构造,致密坚硬。原生金属硫化物,以黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿为主,少量镍黄铁矿等,多呈星点状和聚斑状产出。目前发现的铜镍矿(化)体主要为浅埋藏的隐伏矿(化)体,矿体多赋存于断裂破碎蚀变强烈地段,且与后期花岗岩脉有关,与花岗岩脉接触部位矿化较好,花岗岩对铜镍的富集成矿有利,矿化岩

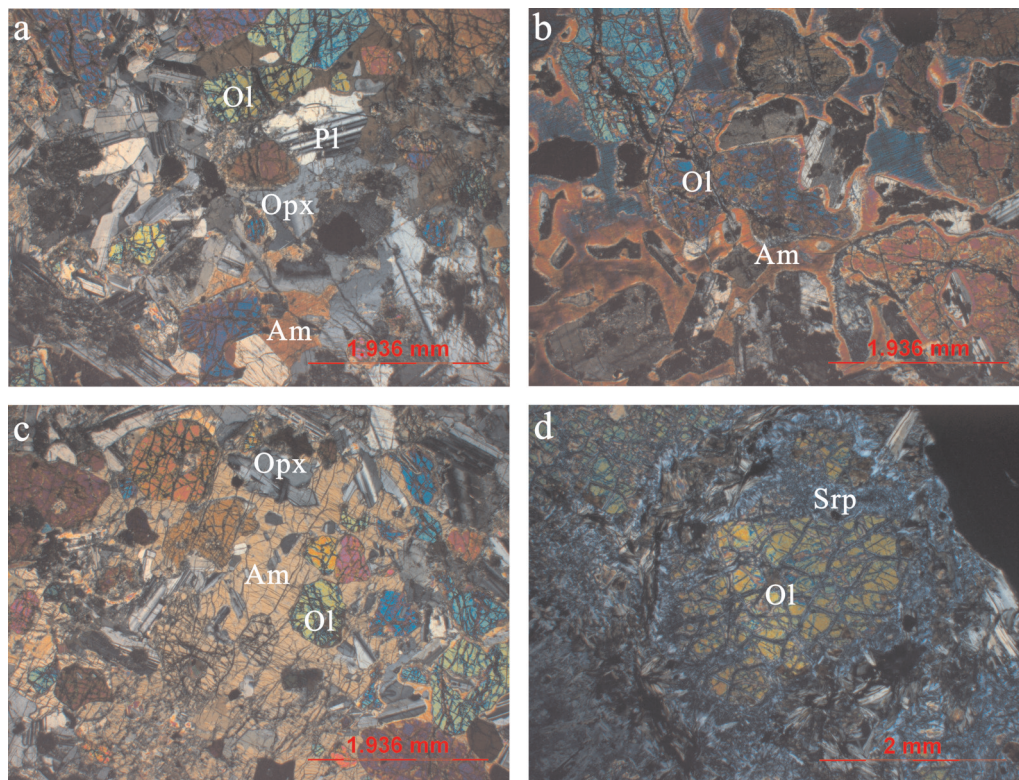


图2 红柳沟基性-超基性岩体矿物特征
a—橄榄角闪辉长苏长岩; b—橄榄辉长苏长岩中橄榄石的闪石次变边; c—橄榄角闪苏长岩中包含结构; d—辉石橄榄岩中橄榄石蛇纹石化;
Ol—橄榄石; Opx—斜方辉石; Pl—斜长石; Am—角闪石; Srp—蛇纹石
Fig.2 Mineral characteristics of Hongliugou mafic-ultramafic complex
a—Olivine hornblende gabbro norite; b— Amphibole kelyphite rim; c—Constraint structure; d—Serpentinized olivine; Ol—Olivine;
Opx—Orthopyroxene; Pl—Plagioclase; Am—Amphibole; Srp—Serpentine

表1 红柳沟岩体主量元素分析结果(%)
Table 1 Major element content of Hongliugou rocks(%)

样品号	岩石类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼失	H ₂ O ⁺	m/f	Mg [#]
11D-Q1	橄榄角闪苏长岩	44.71	13.88	1.36	9.63	6.46	18.60	0.18	1.73	0.39	0.070	0.16	2.82	1.26	3.01	0.75
11D-Q1-1	橄榄角闪辉长苏长岩	43.52	11.35	1.72	11.27	6.16	19.44	0.21	1.51	0.38	0.11	0.18	4.13	2.28	2.67	0.73
11D-Q2	橄榄苏长辉长岩	46.95	17.48	0.75	8.31	8.99	12.17	0.14	2.42	0.60	0.040	0.14	2.01	0.90	2.38	0.71
11D-Q4	橄榄辉长苏长岩	50.01	8.15	0.58	11.39	6.48	19.76	0.060	0.71	0.30	0.020	0.18	2.34	0.89	2.91	0.75
11D-Q3	橄榄辉长苏长岩	43.08	12.92	1.98	8.40	7.75	19.44	0.14	1.0	0.13	0.020	0.15	4.97	3.02	3.35	0.77

注:m/f=n(Mg)/n(Fe); Mg[#]=n(Mg)/[n(Mg)+n(Fe)]。

石山岩体稀土特征相近^[12, 18]。球粒陨石标准化REE配分曲线图中显示为轻稀土配分曲线略微右倾, 重稀土配分曲线相对平坦, 具明显的 δEu 正异常(图3)。

岩体微量元素原始地幔标准化配分曲线显示(图3), 各类岩石微量元素表现为明显的大离子亲石元素(LILE)Rb、Ba、Sr、K富集, 但富集程度明显不同, 高场强元素(HFSE)Nb、Zr、Hf、P、Ti亏损的特征。

4 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素分析

4.1 样品采集及特征

锆石同位素测年样品采自红柳沟1号基性-超基性杂岩体基岩露头上。岩性为橄榄角闪辉长苏长岩, 风化面呈黑色, 新鲜面为浅灰绿色, 块状构造, 不等粒状结构, 矿物成分由橄榄石、辉石、斜长

表 2 红柳沟岩体微量及稀土元素分析结果(10^{-6})Table 2 Trace elements content and REE element content of Hongliugou rocks(10^{-6})

分析项目	11D-Q1	11D-Q1-1	11D-Q2	11D-Q4	11D-Q3
	橄榄角闪苏长岩	橄榄角闪辉长苏长岩	橄榄苏长辉长岩	橄榄辉长苏长岩	橄榄辉长苏长岩
Cu	92.9	148	59.1	179	122
Pb	2.62	1.61	2.11	3.43	1.62
Zn	72.6	85.7	63.1	76.5	64.6
Co	91.3	105	65.2	110	99.2
Li	7.01	10.7	4.33	4.79	4.34
Rb	5.26	7.28	2.65	1.08	4.31
Cs	0.59	1.46	0.51	0.25	1.82
Sr	214	174	268	124	200
Ba	68.7	54.7	59.7	37.7	39.1
V	49	54.2	110	191	55.2
Sc	8.72	13.7	10.1	25.2	12.8
Nb	1.95	1.56	1.02	0.047	0.091
Ta	0.32	0.28	0.2	0.18	0.18
Zr	38.4	38.6	20.3	8.33	6.5
Hf	0.9	0.89	0.56	0.28	0.17
Be	0.5	0.42	0.37	0.19	0.12
Ga	10.2	8.99	12.7	7.94	8.06
U	0.18	0.13	0.083	0.031	0.028
Th	0.64	0.53	0.29	0.051	0.04
La	4.27	3.68	2.47	1.37	1.51
Ce	9.4	8.12	5.56	3.37	3.14
Pr	1.25	1.11	0.75	0.56	0.42
Nd	5.39	5.14	3.69	2.82	1.9
Sm	1.22	1.4	1	0.96	0.5
Eu	0.53	0.44	0.68	0.44	0.36
Gd	1.39	1.49	1.01	1.18	0.64
Tb	0.21	0.22	0.19	0.2	0.098
Dy	1.37	1.49	1.2	1.41	0.68
Ho	0.33	0.33	0.27	0.36	0.14
Er	0.82	0.83	0.68	0.95	0.36
Tm	0.12	0.14	0.099	0.16	0.056
Yb	0.77	0.81	0.62	1.11	0.36
Lu	0.13	0.13	0.096	0.19	0.06
Y	8.28	8.53	6.37	9.14	3.79

石、角闪石等矿物组成,含少量金云母等(图2)。橄榄石晶体呈粒状,粒径大小一般在0.5~2 mm;辉石种属有斜方辉石与单斜辉石两种,以斜方辉石为主,斜方辉石种属为紫苏辉石,光性特征为平行消光,低干涉色,微带粉色,晶体呈粒状,粒径大小为0.5~4 mm,少数晶体局部被透闪石交代,常有橄榄石包裹体形成包橄结构;单斜辉石种属为透辉石,晶体呈粒状,粒径在0.5~3 mm,角闪石呈褐色,多呈填隙状产出;斜长石晶体呈板状,粒径大小在0.4~1.2 mm,晶体中双晶普遍发育。样品新鲜干净,未见明显蚀变,重约30 kg。

4.2 样品处理及分析方法

锆石的分选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室进行。对样品进行清洗后,粉碎至80~100目,采用重液法和电磁法进行分选,在双目镜下精

选、剔除杂质,尽量挑选无包裹体、无裂纹和透明度高的晶形完好的锆石颗粒作为测定对象。然后将其与标准锆石一起制成环氧树脂样品靶,打磨抛光并使其露出中心部位,进行反射光透射光和阴极发光显微照相,阴极发光图像用以确定单颗粒锆石晶体的形态、结构特征以及标定测年点。

锆石CL(阴极发光)照相与SHRIMP U-Pb同位素分析在北京离子探针中心完成。分析条件和流程按Compston等和宋彪等的方法进行^[19],测定的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值用澳大利亚的TEMOKA(417 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=0.06683$)进行校正,衰变常数使用Steiger等推荐值^[20],普通铅用直接测定的 ^{204}Pb 校正,年龄加权平均值计算使用ISOPLLOT软件。在测试过程中,每测定1个标准样品点后,测定4个未知样品点,单次测量的数据点绝对误差为 1σ ,加权平均值置信度

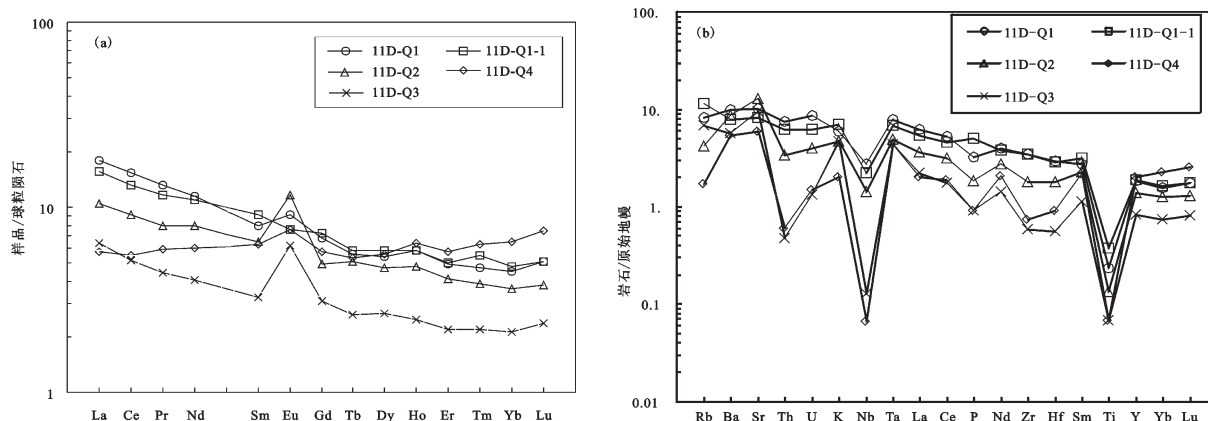


图3 红柳沟稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns(a) and primitive mantle normalized spider diagram of trace elements (b) in Hongliugou mafic-ultramafic rocks

为95%。

4.3 分析结果

红柳沟橄榄角闪辉长苏长岩中锆石颗粒较小,呈不规则状,根据阴极发光图像(图4)和锆石镜下特征,选取晶形完整,自形程度较好,颗粒较大的14颗锆石进行测试,这些锆石韵律环带不清晰,有较宽的结晶环带,各锆石的内部结构相似,无明显的核幔结构, Th/U 比值在0.5~0.86,均大于0.4,具有典型的基性岩浆成因锆石的特征。14个数据(表3)给出的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $(372\pm15)\text{ Ma}$ ~ $(408\pm8)\text{ Ma}$, 处理数据时剔除一个离群值,选择其他13颗锆石的13个剥蚀点参与年龄计算,其加权平均值为 $(396.7\pm3.8)\text{ Ma}$ 。13个分析点都分布于谐和线上或附近,表明这些锆石几乎没有U或Pb的丢失和加入,年龄数据能够代表锆石的结晶年龄(图5~6)。因此红柳沟含长橄榄辉石岩的形成时代为 $(396.7\pm3.8)\text{ Ma}$, 鉴于所测锆石据典型的岩浆成因特征,其年龄代表了岩体侵位的时间。

5 讨论

北山地区经历了南华纪前大陆地壳基底演化,超大陆裂解和洋陆演化,碰撞期后板内伸展和陆内叠覆造山4个演化阶段^[21]。晚志留世北山古生代洋盆已经俯冲消亡,并开始碰撞造山,晚古生代北山及相邻地区进入板内伸展阶段^[22]。塔里木板块北缘北山裂谷带晚古生代处于一种伸展裂解的地球动

力学环境,不仅在中南部的红柳园一大奇山一线发生裂谷作用,而且在北部陆缘裂陷盆地内的黑山、坡北一带同样也发育有近东西向的裂谷带,并伴有含铜镍矿(化)的基性-超基性杂岩体的侵入^[14]。有关北山地区岩浆型铜镍矿成矿地质背景已有不少研究者做过系统总结,大多数认为北山地区的岩浆型铜镍矿形成于一种伸展地球动力学背景的大陆裂谷环境^[23-27]。

红柳沟岩体轻稀土配分曲线略微右倾,重稀土配分曲线相对平坦,具明显的 δEu 正异常,轻、重稀土分馏程度一致性强,具有板内环境岩浆岩稀土配分特征。微量元素中,大离子亲石元素(LILE) Rb、Ba、Sr、K富集,高场强元素(HFSE) Nb、Zr、Hf显著亏损,同时亏损P、Ti元素,样品 Th/Nb 比值为0.28~1.08,均大于0.11,显示出板内玄武岩特征^[28]。在 Th/Yb-Ta/Yb 构造判别图解中,样品大部分落在了板内过渡玄武岩区域,在 Hf-Th-Ta 图解中,样品大部分落在板内碱性玄武岩与E-MORB+板内拉斑玄武岩交界区域^[7,8]。本次测试获得红柳沟基性-超基性岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(396.7\pm3.8)\text{ Ma}$, 相当于中泥盆世。因此,在结合前人研究成果基础上,综合考虑认为,红柳沟岩体为北山早古生代洋盆碰撞造山后裂谷拉伸作用的产物。

红柳沟岩体与区内已知黑山和怪石山铜镍含矿岩体处于同一构造带,是二者的西延,具有相似的地质背景^[12,18,29]。通过对黑山铜镍矿床和怪石山

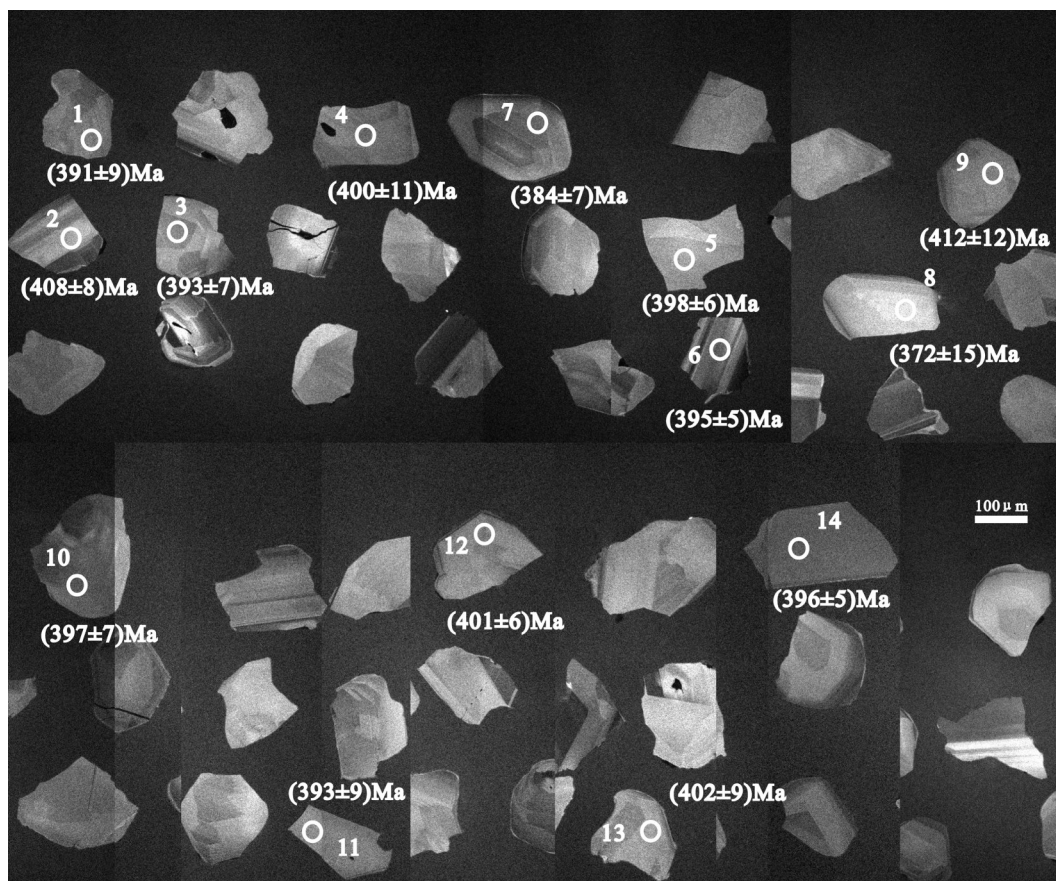


图4 红柳沟橄榄角闪辉长岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig.4 CL images of zircon from olivine hornblende gabbro norite of Hongliugou

铜镍矿点进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 获得黑山铜镍矿区矿化角闪辉长岩中锆石的 U-Pb 年龄为 $(374.6 \pm 5.2) \text{ Ma}$ [30], 怪石山铜镍矿点矿化中粒辉长岩中锆石的 U-Pb 年龄为 $(358.6 \pm 3.9) \text{ Ma}$, 又据大山头杂岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(359.3 \pm 5.7) \text{ Ma}$ [31], 本次测得红柳沟基性-超基性岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(396.7 \pm 3.8) \text{ Ma}$, 可知各岩体成岩时代均集中于 358~397 Ma, 属中一晚泥盆世, 由此表明甘肃北山地区在中一晚泥盆世一直处于陆缘裂谷拉张环境, 铜镍含矿岩体的形成和演化与裂谷作用密切相关。

北山地区有罗东、坡一、坡十、红石山、笔架山、漩渦岭、大山头、黑山、怪石山等数十个与铜镍硫化物矿床有关的基性-超基性岩体, 根据前人对含矿岩体侵入地层时代及成岩成矿年代学的研究及本次研究, 北山地区铜镍硫化物矿床成岩成矿时代大致可以分为两期, 即早二叠世和中一晚泥盆世。前

者分布于阿尔金断裂以西的新疆北山地区, 成岩成矿时代在 280 Ma 左右, 后者分布于阿尔金断裂以东的甘肃北山地区, 成岩成矿时代均集中于 358~398 Ma 之间。显然, 晚古生代时期, 以阿尔金断裂为界, 天山—北山地区东西两侧成矿地质背景存在明显差异, 甘肃北山地区存在着不同于东天山和新疆北山地区的一期重要的铜镍硫化物成矿时期。结合近年来柴周缘新发现的夏日哈木、牛鼻子等成矿岩体时代 $(367 \sim 393.5) \text{ Ma}$, 从而揭示出晚古生代中一晚泥盆世存在一个重要的岩浆铜镍硫化物成矿期, 它不同于以往岩浆型铜镍硫化物矿床的形成时代, 在今后的铜镍找矿工作中值得关注。

6 结 论

通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年, 首次获得红柳沟铜镍矿化基性-超基性岩体中的橄榄角闪辉长岩形成时间为 $(396.7 \pm 3.8) \text{ Ma}$, 结合区域内已知的

表3 红柳沟岩体橄榄角闪辉长苏长岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 3 SHRIMP U-Th-Pb compositions of zircon from olivine hornblende gabbro norite of Hongliugou rock body

点号	²⁰⁶ Pb _c	U	Th	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb*	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*		²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		误差相	
	%	/10 ⁻⁶	/10 ⁻⁶		/10 ⁻⁶	年龄/Ma 1 σ	年龄/Ma 1 σ	年龄/Ma 1 σ	比值	±%	比值	±%	比值	±%	关系数			
1	0.62	76	52	0.71	4.1	391	9	421	145	399	19	0.0552	6.5	0.4764	6.9	0.0626	2.3	0.3
2	1.14	41	21	0.53	2.3	408	8	-276	372	408	38	0.0412	14.6	0.3711	14.8	0.0654	2.0	0.1
3	0.74	137	118	0.88	7.4	393	7	163	126	380	12	0.0493	5.4	0.4278	5.7	0.0629	1.8	0.3
4	1.69	70	52	0.76	3.9	400	11	-102	303	340	30	0.0442	12.3	0.3899	12.6	0.0640	2.8	0.2
5	1.47	91	71	0.81	5.0	398	6	-39	237	366	19	0.0453	9.7	0.3980	9.9	0.0637	1.5	0.2
6	0.83	123	100	0.84	6.7	395	5	210	140	377	13	0.0503	6.0	0.4384	6.2	0.0632	1.3	0.2
7	3.30	59	41	0.72	3.1	384	7	-306	533	310	37	0.0407	20.8	0.3441	20.9	0.0613	1.9	0.1
8	3.71	40	20	0.51	2.1	372	15	-648	803	267	61	0.0358	29.2	0.2929	29.5	0.0594	4.2	0.1
9	1.43	54	37	0.70	3.1	412	12	334	248	401	30	0.0531	10.9	0.4832	11.3	0.0660	3.0	0.3
10	2.12	57	29	0.52	3.1	397	7	-153	383	303	40	0.0433	15.4	0.3784	15.5	0.0634	1.8	0.1
11	3.42	36	18	0.52	1.9	393	9	-397	828	304	64	0.0393	31.8	0.3408	31.9	0.0629	2.3	0.1
12	1.59	88	71	0.83	4.8	401	6	249	214	375	20	0.0512	9.3	0.4531	9.4	0.0642	1.5	0.2
13	0.00	89	59	0.68	4.9	402	9	407	70	411	14	0.0549	3.1	0.4868	4.0	0.0643	2.4	0.6
14	0.92	151	113	0.78	8.2	396	5	213	132	369	13	0.0504	5.7	0.4399	5.8	0.0633	1.3	0.2

注:误差为1σ, Pb_c和Pb*分别代表普通铅和放射成因铅。

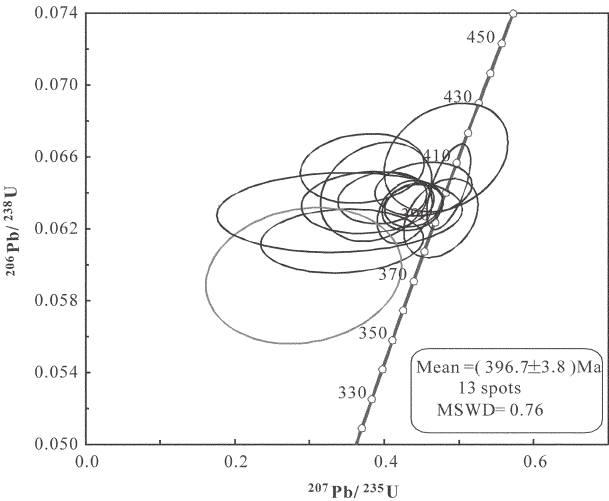


图5 红柳沟橄榄角闪辉长苏长岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig.5 U-Pb concordia diagram of zircon from olivine hornblende gabbro norite of Hongliugou rock body

黑山、怪石山等含铜镍岩体形成时代,认为北山地区晚古生代一直处于较强烈的拉张环境,红柳沟岩体为北山早古生代洋盆碰撞造山后裂谷拉伸作用的产物。中-晚泥盆纪含铜镍基性-超基性岩的厘定对认识北山裂谷的形成与演化及岩体的成岩成矿地质背景具有重要意义,为北山地区下一步的铜镍找矿工作开阔了视野。

致谢:审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提

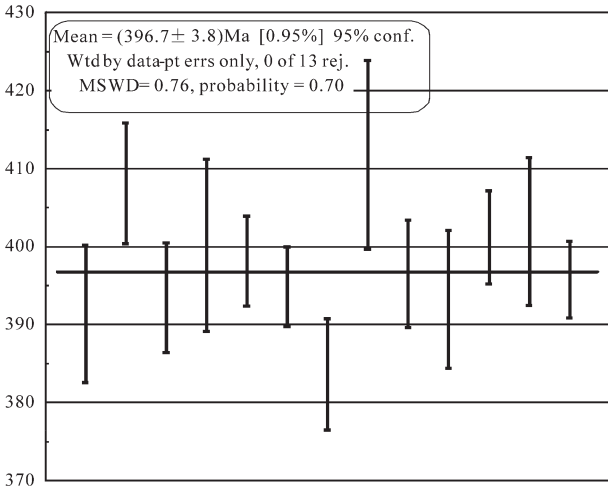


图6 红柳沟橄榄角闪辉长苏长岩锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权图
Fig.6 Weighted average ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of zircon from olivine hornblende gabbro norite of Hongliugou rock body

出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

[1] 姜常义,程松林,叶书锋,等.新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体地球化学与岩石成因[J].岩石学报,2006,22(1):115-126.
Jiang Changyi, Cheng Songlin, Ye Shufeng, et al. Lithogeochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body, at Beishan region, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica,

- 2006, 22(1): 115–126 (in Chinese with English abstract).
- [2] 王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 461–469.
- Wang Jingbin, Wang Yuwang, He Zhijun. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountain, NW China[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 461–469 (in Chinese with English abstract).
- [3] 孙赫, 秦克章, 李金祥, 等. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相、岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 606–617.
- Sun He, Qin Kezhang, Li Jinxiang, et al. Petrographic and geochemical characteristics of the Tulargen Cu–Ni–Co sulfide Deposit, East Tianshan, Xinjiang, and its tectonic setting[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 606–617 (in Chinese with English abstract).
- [4] Pirajno F, Mao J W, Zhang Z C, et al. The association of mafic–ultramafic intrusions and A–type magmatism in the Tianshan and Altay orogens, NW China: Implications for geodynamic evolution and potential for the discovery of new ore deposits[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(2/4): 165–183.
- [5] 苏本勋, 秦克章, 孙赫, 等. 新疆北山地区红石山镁铁–超镁铁岩体的岩石矿物学特征: 对同化混染和结晶分异过程的启示[J]. 岩石学报, 2009, 25: 873–887.
- Su Benxun, Qin Kezhang, Sun He, et al. Petrological and mineralogical characteristics of Hongshishan mafic–ultramafic complex in Beishan area, Xinjiang: Implications for assimilation and fractional crystallization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25: 873–887 (in Chinese with English abstract).
- [6] 苏本勋, 秦克章, 孙赫, 等. 新疆北山地区旋窝岭镁铁–超镁铁岩体的年代学、岩石矿物学和地球化学研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3283–3294.
- Su Benxun, Qin Kezhang, Sun He, et al. Geochronological, petrological, mineralogical and geochemical studies of the Xuanwoling mafic–ultramafic intrusion in Beishan area, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(11): 3283–3294 (in Chinese with English abstract).
- [7] Ao S J, Xiao W J, Han C M, et al. Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic–ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: Implications for Late Paleozoic tectonic evolution of the Southern Altaids[J]. *Gondwana Research*, 2010, 18: 466–478.
- [8] Qin K Z, Su B X, Sakya P A, et al. SIMS Zircon U–Pb geochronology and Sr–Nd isotopes of Ni–Cu bearing mafic–ultramafic intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): Constraints on a ca. 280 Ma mantle plume[J]. *American Journal of Science*, 2011, 311: 237–260.
- [9] Su B X, Qin K Z, Sakya P A, et al. Geochronologic–petrochemical studies of the Hongshishan mafic–ultramafic intrusion, Beishan area, Xinjiang (NW China): Petrogenesis and tectonic implications[J]. *International Geology Review*, 2012, 54: 270–289.
- [10] 屈翠侠, 杨兴科, 何虎军, 等. 新疆北山盐滩一带侵入岩地球化学特征、时代及地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1409–1420.
- Qu Cuixia, Yang Xingke, He Hujun, et al. Geochemical features and ages of the intrusive rocks from Yantan belt in Beishan area of Xinjiang and their geological implications[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1409–1420 (in Chinese with English abstract).
- [11] 秦克章, 田野, 姚卓森, 等. 新疆喀拉通克铜镍矿田成矿条件、岩浆通道与成矿潜力分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 912–935.
- Qin Kezhang, Tian Ye, Yao Zhuosen, et al. Metallogenic conditions, magma conduit and exploration potential of the Kalatongk Cu–Ni orefield in Northern Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 912–935 (in Chinese with English abstract).
- [12] 白云来, 张汉成, 李卫红, 等. 论甘肃北山中部铜镍成矿系统的构造背景[J]. 甘肃地质学报, 2002, 11(2): 29–44.
- Bai Yunlai, Zhang Hancheng, Li Weihong, et al. On the geotectonic background of the nickel–copper metallogenic system of the central Beishan mountains in Gansu, China[J]. *Acta Geologica Gansu*, 2002, 11(2): 29–44 (in Chinese with English abstract).
- [13] 左国朝, 李绍雄. 塔里木盆地东北缘早古生代构造格局及演化[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 946–959.
- Zuo Guochao, Li Shaoxiong. Early Paleozoic tectonic framework and evolution in the northeast margin of Tarim Basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 946–959 (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨建国, 谢春林, 王小红, 等. 甘肃北山地区基本构造格局和成矿系列特征[J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 422–438.
- Yang Jianguo, Xie Chunlin, Wang Xiaohong, et al. Basic tectonic framework and features of metallogenic series in Beishan area, Gansu Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3): 422–438 (in Chinese with English abstract).
- [15] 谢燮, 杨建国, 王小红, 等. 甘肃北山红柳沟含铜镍基性超基性岩体成矿特征及其找矿潜力分析[J]. 西北地质, 2013, 46(增刊): 163–166.
- Xie Xie, Yang Jianguo, Wang Xiaohong, et al. The metallogenic characteristics and prospecting potential analysis of Hongliugou Cu–Ni mineralized mafic–ultramafic rocks in Beishan area, Gansu Province[J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(Suppl): 163–166 (in Chinese).
- [16] 谢燮, 杨建国, 王小红, 等. 甘肃北山大山头一带铜镍矿化基性–超基性岩体地质、地球化学特征及成矿潜力[J]. 新疆地质, 2013, 31(4): 353–359.
- Xie Xie, Yang Jianguo, Wang Xiaohong, et al. The geology, geochemical characteristics and metallogenic potential of Dashantou Cu–Ni mineralized mafic–ultramafic rocks in Beishan, Gansu Province[J]. *Xinjiang Geology*, 2013, 31(4): 353–

- 359 (in Chinese with English abstract).
- [17] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, (3): 167-174
Li Tong. Chemical element abundances in the earth and its major shells[J]. *Geochimica*, 1976, (3): 167-174 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王立社, 杨建国, 谢春林, 等. 甘肃怪石山铜镍矿化基性超基性岩成矿潜力研究[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 392-399.
Wang Lishi, Yang Jianguo, Xie Chunlin, et al. Metallogenic potentiality of Guashishan Cu-Ni mineralized basic-ultrabasic rock in Beishan area, Gansu Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(3): 392-399 (in Chinese with English abstract).
- [19] Compston W, Williams S I, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 1992, 149(2): 171-184.
- [20] 宋彪, 张玉海, 刘敦一. 微量原位分析仪器SHRIMP的产生与锆石同位素地质年代学[J]. 质谱学报, 2002, 23(1): 58-62.
Song Biao, Zhang Yuhai, Liu Dunyi. Introduction to the renaissance of SHRIMP and its contribution to isotope geology[J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2002, 23(1): 58-62 (in Chinese with English abstract).
- [21] 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-347.
Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, et al. The Geological Survey of Northwest China: Qinling, Qilian and Tianshan Area[M]. Beijing: Science Publishing House, 2008: 1-347 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李向民, 余吉远, 王国强, 等. 甘肃北山红柳园地区泥盆系三个井组和墩墩山群LA-ICP-MS 锆石U-Pb测年及其意义[J]. 地质通报, 2011, 30(10): 501-1507.
Li Xiangmin, Yu Jiyuan, Wang Guoqiang, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Devonian Sangejing Formation and Dundunshan Group in Hongliuyuan, Beishan area, Gansu Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(10): 1501-1507 (in Chinese with English abstract).
- [23] 汤中立, 李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1-209.
Tang Zhongli, Li Wen Yuan. Jinchuan Copper Nickel Sulfide (Platinum) Metallogenic Model and Comparison of Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1-209 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李文渊. 中国铜镍硫化物矿床成矿系列与地球化学[M]. 西安: 西安地图出版社, 1996: 1-228
Li Wen Yuan. Metallogenic Series and Geochemistry of Nickel-Copper Sulfide Deposits in China[M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 1996: 1-228 (in Chinese with English abstract).
- [25] 白云来, 陈启林, 汤中立, 等. 塔里木板块东北边缘弧后裂谷系统基性、超基性岩特征[J]. 中国地质, 2004, 31(3): 254-261.
Bai Yunlai, Chen Qilin, Tang Zhongli, et al. The characteristics of basic-ultrabasic rocks in the back-arc rift system on the northeastern margin of the Tarim plate[J]. *Geology in China*, 2004, 31(3): 254-261 (in Chinese with English abstract).
- [26] 杨合群, 李英, 杨建国, 等. 北山造山带的基本成矿特征[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 78-95.
Yang Hequn, Li Ying, Yang Jianguo, et al. Main metallogenic characteristics in the Beishan orogen[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(2): 78-95 (in Chinese with English abstract).
- [27] 杨合群, 李英, 李文明, 等. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 22-27.
Yang Hequn, Li Ying, Li Wenming, et al. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishan Mountain, Northwestern China[J]. *Northwestern Geology*, 2008, 41(1): 22-27 (in Chinese with English abstract).
- [28] 孙书勤, 张成江, 赵松江. 大陆板内构造环境的微量元素判别[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 104-109.
Sun Shuqin, Zhang Chengjiang, Zhao Songjiang. Identification of the tectonic settings for continental intraplate by trace elements[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(1): 104-109 (in Chinese with English abstract).
- [29] 邵小阳, 孙柏年, 李相传, 等. 甘肃北黑山铜镍矿成矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃地质, 2010, 19(3): 19-25.
Shao Xiaoyang, Sun Bainian, Li Xiangchuan, et al. Geological features and metallogenesis of Heishan copper-nickel deposit in Subei county of Gansu Province[J]. *Acta Geologica Gansu*, 2010, 19(3): 19-25 (in Chinese with English abstract).
- [30] 杨建国, 王磊, 王小红, 等. 甘肃北山地区黑山铜镍矿化基性-超基性杂岩体SHRIMP 锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 448-454.
Yang Jianguo, Wang Lei, Wang Xiaohong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Heishan mafic-ultramafic complex in the Beishan area of Gansu Province and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3): 448-454 (in Chinese with English abstract).
- [31] 闫海卿, 赵焕强, 丁瑞颖, 等. 甘肃北山大山头基性杂岩体SHRIMP 锆石U-Pb年龄及其地质意义[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 216-228.
Yan Haiqing, Zhao Huanqiang, Ding Ruiying, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Dashantou basic complex and its geological significance in Beishan area, Gansu Province[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 216-228 (in Chinese with English abstract).