

# 东天山土屋-延东斑岩铜矿围岩的同位素年代和地球化学研究\*

侯广顺<sup>1,2</sup> 唐红峰<sup>1</sup> 刘丛强<sup>1</sup> 王彦斌<sup>3</sup>

HOU GuangShun<sup>1,2</sup>, TANG HongFeng<sup>1</sup>, LIU CongQiang<sup>1</sup> and WANG YanBin<sup>3</sup>

1. 地球深部物质与流体作用研究室, 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

1. *Laboratory for Study of Earth's Interior and Geofluids, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China*

2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

3. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

2005-03-03 收稿, 2005-09-21 改回.

Hou GS, Tang HF, Liu CQ and Wang YB. 2005. Geochronological and geochemical study on the wallrock of Tuwu-Yandong porphyry copper deposits, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6): 1729–1736

**Abstract** This paper reports the isotopic age of Qi'eshan Group, the wallrock of Tuwu-Yandong porphyry copper deposits in eastern Tianshan mountains. The analyses by SHRIMP shows that the zircon crystals separated from the andesite within Qi'eshan Group have the concordant U-Pb age of  $336.5 \pm 6.6$  Ma, and the Sm-Nd isochronic age of the basalt and its constituent minerals, diopside and plagioclase, collected from the same group is  $334 \pm 36$  Ma. These results conformably demonstrate that Qi'eshan Group was formed in early Carboniferous epoch. The basalts of Qi'eshan Group are of island arc tholeiite series, and are characterized by moderate enrichment of the LREE relative to the HREE. They all show significant enrichment of large ion lithophile elements and relative depletion in high strength field elements relative to N-MORB, indicating that Qi'eshan Group was formed at a subduction zone setting, in accordance with the tectonic discrimination diagram. The geochronological determination of Qi'eshan Group provides important constraints for the petrogenetic and metallogenic age of the deposits and its tectonic setting, which were much controversial issues before.

**Key words** Tuwu-Yandong porphyry copper deposit, Qi'eshan Group, Zircon SHRIMP U-Pb age, Sm-Nd isochron, Subduction zone

**摘要** 东天山土屋-延东大型斑岩铜矿的成岩成矿时代及其构造背景还存在很大争议。本文报道了铜矿远矿围岩—企鹅山群的同位素年代和地球化学研究结果。研究表明,企鹅山群安山岩中锆石 SHRIMP U-Pb 谐和年龄值  $336.5 \pm 6.6$  Ma,玄武岩的透辉石、斜长石和全岩 Sm-Nd 内部等时线年龄值  $334 \pm 36$  Ma,两个结果一致地表明企鹅山群形成于早石炭世。元素地球化学研究表明,企鹅山群玄武岩样品属于岛弧拉斑玄武岩系列,其稀土元素配分模式显示轻稀土相对富集,重稀土相对亏损的右倾模式,与洋中脊玄武岩相比,具有大离子亲石元素相对富集、高场强元素相对亏损的特征,具有俯冲带岛弧火山岩的典型特征。构造环境判别图解也指示企鹅山群形成于俯冲带环境。本研究对土屋-延东大型斑岩铜矿的成岩成矿作用时代及其构造背景问题提供了重要制约。

**关键词** 土屋-延东斑岩铜矿; 企鹅山群; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; Sm-Nd 等时线; 俯冲带

**中图法分类号** P597.3; P588.132; P618.48

\* 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)和2002年度中国科学院西部之光项目资助。

第一作者简介: 侯广顺,男,1979年2月生,博士研究生,地球化学专业, E-mail:houguangshun666@163.com

## 1 引言

土屋-延东大型斑岩铜矿的发现是东天山地区地质找矿工作的重大突破(王福同等,2001; 芮宗瑶等,2001),为缓解我国铜资源短缺的现状具有重要意义,引起了科研人员和生产单位的广泛重视(陈文明等,2002; 芮宗瑶等,2002a, 2002b; 刘德权等,2003)。这些研究为查明该矿床的地质特征及区域成矿系列的对比做出了很大贡献,但是由于基础研究薄弱,对该矿床的成岩成矿时代和构造归属的认识还存在较大分歧(芮宗瑶等,2002a; 秦克章等,2002a; 刘德权等,2003; 张连昌等,2004)。

前人围绕土屋-延东斑岩铜矿成岩成矿作用时代的研究,集中在矿床(包括矿石矿物和脉石矿物)、含矿斑岩(即斜长花岗岩斑岩)和围岩(企鹅山群火山岩)等方面,主要的结果综合于表1。从表1所列众多的年龄结果不难看到,与该斑岩铜矿有关的时代(特别是围岩的时代)问题存在明显的分歧。围岩时代认识的差异直接导致了矿床所在地区大地构造归属的争议(芮宗瑶等,2002b; 刘德权等,2003)。关于土屋-延东斑岩铜矿构造背景的主要观点有:(1)属于塔里木板块北缘弧后盆地基础上发育的裂陷槽(马瑞士等,1993)。(2)属于塔里木板块的活动陆缘,是泥盆纪岛弧火山-深成作用的产物(芮宗瑶等,2002b)。(3)属于准噶尔板块南缘的石炭纪岛弧增生带(姬金生等,1994)。(4)属于塔里木板块的被动陆缘,是早石炭世拉张阶段的产物(何国琦等,1994)。

作为土屋-延东大型斑岩铜矿成岩成矿研究的基础,围岩企鹅山群的年代和构造背景无疑是其中的关键问题。这一问题不仅对理清该矿床的成岩成矿时代,还对揭示矿区的构造背景具有重要意义。此外,已有的土屋铜矿的同位素年

代资料主要集中在矿区范围内(芮宗瑶等,2002a; 秦克章等,2002b; 刘德权等,2003; 张连昌等,2004),而矿区复杂的构造-热演化历史可能使所获年代资料具有多解性。相对而言,较少遭受成矿作用改造的远矿围岩能够为解决上述分歧提供重要的约束,但这方面的研究还明显不足。为此,本文对铜矿外圈的火山岩进行了同位素年代学和地球化学研究,在此基础上讨论了矿床的成岩成矿作用时代和构造背景。

## 2 区域地质概况

研究区位于塔里木板块与准噶尔板块的结合部位,中天山古隆起带东北缘的觉罗塔格晚古生代岛弧带中。企鹅山群夹持于康古尔断裂与大草滩断裂之间。南部与干墩组呈断裂接触,北部与大南湖组以断裂相隔(图1)。

企鹅山群包括二个非正式的组:第一组紧邻康古尔断裂分布,主要由碎屑岩类组成。第二组主要由中基性熔岩组成,包括玄武岩、玄武安山岩和安山岩等,夹有英安岩及火山碎屑岩。第三组紧邻大草滩断裂分布,主要由碎屑岩及中酸性火山岩组成。企鹅山群整体上南倾,地层南老北新。

土屋-延东斑岩铜矿产于第二、三组的分界处,矿田矿化蚀变带南北宽250~530m,长15km以上。赋矿岩石以斜长花岗岩斑岩为主,另有少量为企鹅山群第二、三组的火山岩及碎屑岩等。赋矿的斜长花岗岩斑岩体为侵入企鹅山群并呈不规则零星分布的岩株。土屋矿区出露23个斑岩体,面积最大的约0.03km<sup>2</sup>,最小者不足10m<sup>2</sup>(王福同等,2001; 刘德权等,2003; 张连昌等,2004)。野外观察及矿区1:1万地质填图表明,企鹅山群古火山机构喷发类型为裂隙-中心式,土屋-延东含矿斑岩位于古火山口的北侧近旁。推测在火山活动末期,含矿斑岩体沿火山口附近的裂隙上侵,为企鹅山群火山喷发的次火山岩相或浅成侵入体,两者属于同一火山机构。

表1 土屋-延东斑岩铜矿已有同位素年代学研究结果

Table 1 Isotopic ages obtained by previous studies on Tuwu-Yandong porphyry copper deposits

研究对象	同位素年龄 (Ma)	样品与分析方法	资料来源
矿床	322.7 ± 2.3	辉钼矿, Re-Os 等时线	芮宗瑶等, 2002a
	341.2 ± 4.9	蚀变岩的绢云母, K-Ar	秦克章等, 2002b
	347.3 ± 2.1	含矿石英, <sup>39</sup> Ar- <sup>40</sup> Ar	秦克章等, 2002b
	343 ± 26	辉钼矿, Re-Os 等时线	张连昌等, 2004
含矿斑岩	369 ± 69	全岩, Rb-Sr 等时线	芮宗瑶等, 2002a
	(356 ~ 361) ± 8	颗粒锆石, 稀释法	芮宗瑶等, 2002a
	(333 ~ 334) ± 2	锆石, SHRIMP	陈富文等, 2005
围岩	416 ± 120	全岩, Sm-Nd 等时线	芮宗瑶等, 2002a
	434 ± 21 (n=3),	玄武岩中锆石, SHRIMP	刘德权等, 2003
	334.6 ± 4.8 (n=3),	(n 为计算年龄的锆石颗粒数)	
	320.1 ± 7.7 (n=9)		
	260 ± 46 (n=3)		

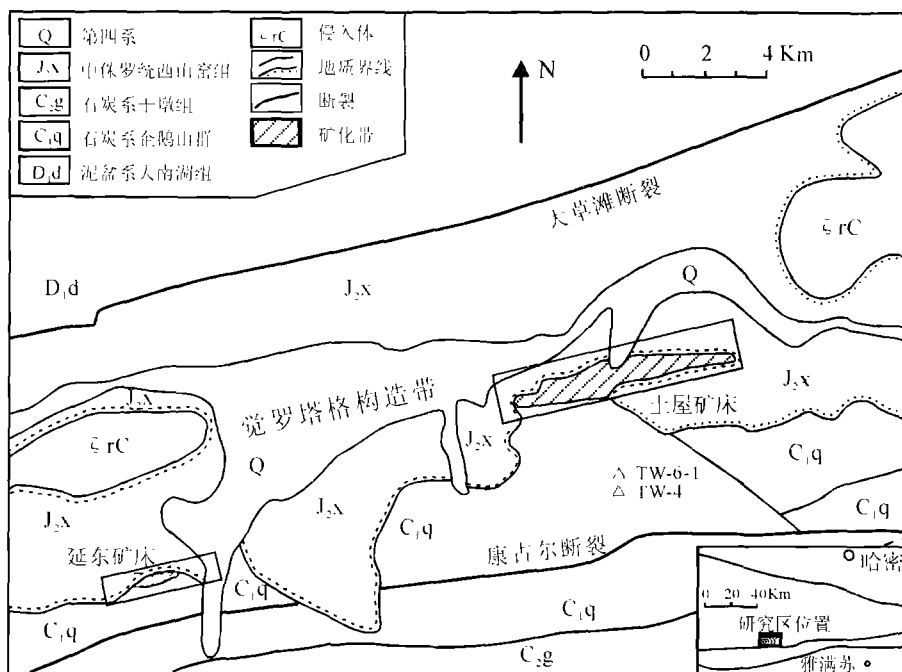


图1 区域地质和采样位置简图(据马瑞士等,1993;刘德权等,2003修编)

Fig.1 Geological map showing sample locality (modified from Ma Ruishi *et al.*, 1993 and Liu Dequan *et al.*, 2003)

### 3 样品和分析方法

本研究的样品来自土屋铜矿南约3km处。野外观察表明,所采样品属于一个较完整的岩浆旋回,其间无明显的断层等构造现象(图1)。玄武岩样品新鲜,深绿色,块状构造,斑状结构,斑晶为斜长石和单斜辉石,部分单斜辉石发生了一定程度的绿泥石蚀变,基质以隐晶质和玻璃质为主。安山岩样品(TW-6-1)具斑状结构,斑晶为斜长石和少量辉石,基质为细晶的斜长石及少量石英。斜长石发生弱的绢云母化及高岭土化,局部微裂隙中充填有方解石细脉。

从样品TW-6-1中按常规方法挑选出锆石,进行SHRIMP U-Pb定年。所选出的锆石呈淡黄色,晶体长80~120 $\mu\text{m}$ ,直径40~60 $\mu\text{m}$ ,长宽比约2.5~1.5,为长柱双锥至短柱双锥状自型晶体,晶面完整。锆石的U-Pb分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心SHRIMP II上进行,详细流程见Compston等(1984)。应用RSES参考锆石TEM(417Ma)进行元素分馏校正,由锆石SL13(年龄572Ma, U含量238(g/g)标定样品的U、Th和Pb含量,应用实测 $^{204}\text{Pb}$ 校正锆石中的普通铅。分析结果列于表2。

按常规方法从玄武岩样品TW-4中挑选出斜长石和辉石单矿物。经X粉晶测试,单矿物的纯度>98%,辉石为透辉石。单矿物和全岩的Sm-Nd同位素组成在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室的MAT262固体质谱计上分析。实验室的Sm、Nd全流程本底约50pg。La Jolla标样的测定结果为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511862 \pm 4$

( $n=13$ )。同位素测试结果列于表3。

微量元素在中国科学院地球化学研究所用湿化学法分析。微量元素在中国科学院广州地球化学研究所用ICP-MS测试。主、微量元素的分析精度分别优于1%和5%,结果列于表4。

### 4 同位素年代学

#### 4.1 安山岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄

在进行SHRIMP U-Pb分析前,对锆石进行了阴极发光照相(图2)。可以看出,锆石具有明显的韵律环带,指示是岩浆结晶成因。同时,锆石具有较高的Th/U比值(绝大多数颗粒都在0.5以上,表2),具有岩浆结晶成因的重要特征(Hoskin等,2000)。

由表2的结果,用Isoplot程序(Ludwig, 1999)获得所报道的16个锆石颗粒在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 图上(图3)的谐和年龄为 $336.5 \pm 6.6 \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ ),而这16个测试点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $336.9 \pm 8.3$  ( $2\sigma$ ),因此企鹅山群安山岩的成岩年龄约为337 Ma。

#### 4.2 玄武岩的Sm-Nd等时线年龄

由玄武岩样品TW-4的全岩和单矿物(透辉石、斜长石)的Sm-Nd同位素测试结果(表3),经Isoplot程序(Ludwig, 1999)计算的Sm-Nd等时线如图4。该样品的全岩和两种主要矿物构成线性关系较好的Sm-Nd内部等时线,结果为 $334 \pm 36 \text{ Ma} \pm 2\sigma$ , MSWD = 1.41)。其中因斜长石的Sm、Nd含

表2 企鹅山群安山岩(样品 TW-6-1)的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分析结果

Table 2 SHRIMP U-Pb results for the zircons from the andesite (sample TW-6-1) within Qi'eshan Group

测定点	U ( $\mu\text{g/g}$ )	Th ( $\mu\text{g/g}$ )	Th/U	$^{232}\text{Th}/$ $^{238}\text{U}$	$f_{206}$ (%)	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$1\sigma$ ( $\pm\%$ )	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{235}\text{U}$	$1\sigma$ ( $\pm\%$ )	$^{206}\text{Pb}^*/$ $^{238}\text{U}$	$1\sigma$ ( $\pm\%$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)	$1\sigma$ ( $\pm\%$ )
1.1	317	243	0.77	0.79	1.66	0.0524	8.4	0.381	9.1	0.0526	3.6	331	12
2.1	315	265	0.84	0.87	1.07	0.0559	6.7	0.402	7.2	0.0522	2.7	328.1	8.5
3.1	413	361	0.87	0.90	1.95	0.0511	14	0.353	14	0.0502	2.7	315.6	8.4
4.1	410	197	0.48	0.50	0.99	0.0492	5.6	0.396	6.2	0.0584	2.6	365.7	9.3
5.1	353	329	0.93	0.96	1.90	0.0556	13	0.441	14	0.0574	2.8	360.0	9.7
6.1	300	258	0.86	0.89	3.05	0.0440	15	0.336	16	0.0554	2.8	347.4	9.5
7.1	275	255	0.93	0.96	2.82	0.0550	15	0.407	15	0.0537	2.8	337.2	9.1
8.1	228	188	0.82	0.85	1.88	0.0565	9.3	0.418	9.7	0.0537	2.8	337.1	9.2
9.1	480	581	1.21	1.25	0.75	0.0542	5.4	0.385	6.0	0.0515	2.6	324.0	8.1
10.1	242	174	0.72	0.74	0.84	0.0599	7.2	0.438	7.7	0.0531	2.7	333.5	8.8
11.1	122	63	0.52	0.53	5.03	0.037	40	0.26	40	0.0497	3.5	313	11
12.1	134	51	0.38	0.40	3.03	0.0544	18	0.396	19	0.0528	4.3	332	14
13.1	211	113	0.53	0.55	1.60	0.0477	11	0.344	12	0.0523	2.8	328.5	9.0
14.1	224	176	0.78	0.81	2.33	0.0498	12	0.365	13	0.0532	2.9	333.9	9.4
15.1	266	282	1.06	1.09	2.10	0.0551	15	0.435	15	0.0573	2.8	358.9	9.7
16.1	229	167	0.73	0.75	0.96	0.0644	6.9	0.502	7.8	0.0566	3.6	355	12

注:  $f_{206}$  (%) 为非放射成因  $^{206}\text{Pb}$  在总的  $^{206}\text{Pb}$  中所占的百分比, 普通铅用测试的  $^{204}\text{Pb}$  校正

表3 企鹅山群玄武岩样品 TW-4 的 Sm-Nd 同位素组成

Table 3 Sm-Nd isotopic composition of basalt sample TW-4 within the Qi'eshan Group

岩石/矿物	Sm ( $\mu\text{g/g}$ )	Nd ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ( $2\sigma$ )
全岩	5.452	23.47	0.1407	0.512793 (12)
透辉石	6.806	20.39	0.2021	0.512924 (10)
斜长石	0.2387	1.355	0.1067	0.512688 (51)

量很低,使其  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  的分析精度偏低和年龄误差偏大。尽管由此会对年龄结果有所影响,但等时线的质量还是符合要求的,更重要的是该年龄值与安山岩锆石的结果在误差范围内一致。因此,我们认为所获得的玄武岩 Sm-Nd 等时线年龄是有明确地质意义的。作为与锆石年龄的互为补充,它也代表了该地层火山岩的结晶时代。值得指出的是,由于从火山岩中难以分选出满足要求的单矿物,到目前为止,还很少有火山岩样品的矿物内部等时线年龄的报道。我们这次通过精细的单矿物分离工作,利用 X 射线衍射分析确保矿物的纯度,最后获得了可由其他方法印证的结果。

## 5 元素地球化学

### 5.1 主量元素

从表4可以看出,  $\text{SiO}_2$  在 46~58.5% 之间,  $\text{MgO}$  含量在 2.12~7.57% 之间。在  $\text{Zr}/\text{TiO}_2\text{-Nb/Y}$  图上(图5), 样品都落入玄武岩及安山岩的区域, 属于亚碱性系列 (Pearce, 1996)。样品具有中等大小的镁指数(0.42~0.55), 从玄武岩到安山

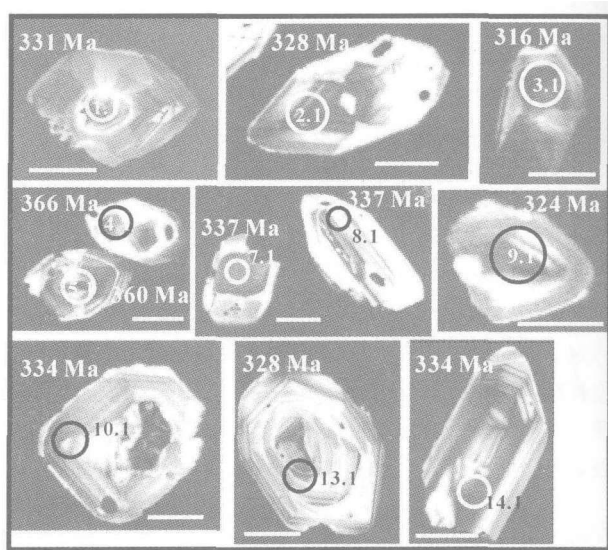


图2 企鹅山群安山岩锆石阴极发光照片(圆圈示分析点位置,年龄值为各颗粒的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄,比例尺为  $40\mu\text{m}$ )

Fig. 2 CL images of zircon crystals from the andesite within Qi'eshan Group

岩样品, 镁指数显示了连续降低的特点, 表明经历了一定的结晶分异作用。在  $w(\text{SiO}_2) - w(\text{FeO})/w(\text{MgO})$  图上 (Miyashiro, 1974. 图略), 玄武岩样品都落在拉斑玄武岩区域。所以, 玄武岩样品属于拉斑系列。玄武岩样品的  $\text{K}_2\text{O}$  含量在 0.09~0.57% 之间,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量在 1.87~3.51% 之间, 属于钠质类型。

表4 企鹅山群与雅满苏组火山岩主量和微量元素组成  
Table 4 Major and trace elements compositions of Qi'eshan Group samples

样品	TW-4	TW-4-1	TW-5	TW-7	TW-8	TW-12	TW-6-1
岩性	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武安山岩	安山岩
主量元素(%)							
SiO <sub>2</sub>	46.97	46.01	48.18	50.65	50.80	53.85	58.51
TiO <sub>2</sub>	1.76	1.87	1.28	1.10	1.07	0.82	0.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.70	17.04	15.75	19.37	19.11	16.44	14.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.10	7.23	7.77	4.01	3.12	3.55	2.49
FeO	4.24	4.04	4.17	4.07	4.86	5.21	2.97
MnO	0.17	0.18	0.15	0.13	0.15	0.18	0.10
MgO	5.98	5.20	7.57	4.71	4.02	3.99	2.12
CaO	9.52	7.99	5.31	9.18	9.31	9.54	6.88
Na <sub>2</sub> O	2.27	3.38	3.51	2.91	2.82	1.87	2.13
K <sub>2</sub> O	0.57	0.37	0.17	0.09	0.44	0.08	1.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.73	0.55	0.41	0.68	0.60	0.41	0.41
LOI	3.87	5.60	5.14	2.82	3.26	3.61	7.24
Total	99.88	99.46	99.41	99.72	99.56	99.57	99.46
Mg <sup>#</sup>	0.52	0.47	0.55	0.52	0.48	0.46	0.42
微量元素(μg/g)							
Cr	92.3	78.6	194	127	94.1	122	45.5
Co	36.1	38.1	43.2	31.7	26.6	29.4	13.1
Ni	71.6	70.1	123	94.3	55.9	81.1	17.4
Ba	350	189	132	107	180	52	196
Rb	8.76	5.29	2.69	1.16	8.56	0.41	52.2
Sr	560	716	476	712	806	782	257
Nb	5.38	5.80	3.52	2.43	3.56	1.68	3.27
Ta	0.43	0.40	0.31	0.19	0.23	0.17	0.28
Zr	142	151	134	82	108	64	157
Hf	3.34	3.50	3.09	2.04	2.57	1.73	4.38
Y	23.2	24.4	27.6	16.0	17.2	13.4	19.2
Sc	22.4	24.4	29.5	20.4	20.4	17.9	13.2
V	225	239	219	191	208	181	141
Th	1.30	1.00	0.54	0.68	1.45	0.53	3.84
U	0.25	0.24	0.14	0.26	0.44	0.18	1.40
Pb	4.77	3.36	0.76	3.51	6.02	3.98	5.26
La	14.57	16.07	6.47	7.42	17.19	5.71	9.33
Ce	34.68	36.75	18.79	18.03	41.95	14.08	22.67
Pr	4.51	5.11	2.89	2.48	5.83	1.98	3.04
Nd	20.70	22.64	14.79	11.90	26.99	9.60	13.55
Sm	4.91	5.22	4.15	3.00	5.75	2.39	3.20
Eu	1.65	1.81	1.44	1.11	1.83	0.98	0.77
Gd	5.19	4.75	5.52	3.55	5.10	2.77	3.59
Tb	0.75	0.78	0.80	0.47	0.64	0.39	0.54
Dy	4.22	4.48	4.82	2.78	3.32	2.32	3.30
Ho	0.86	0.91	1.03	0.57	0.64	0.49	0.68
Er	2.37	2.53	2.78	1.56	1.62	1.35	1.94
Tm	0.32	0.35	0.39	0.22	0.21	0.18	0.28
Yb	2.04	2.17	2.46	1.38	1.32	1.22	1.86
Lu	0.31	0.33	0.37	0.21	0.20	0.17	0.28
ΣREE	97.07	103.89	66.70	54.67	112.58	43.64	65.03
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.1	5.3	1.9	3.9	9.3	3.3	3.6
(Gd/Lu) <sub>N</sub>	2.1	1.8	1.8	2.1	3.2	2.0	1.6
δEu	1.00	1.11	0.92	1.04	1.03	1.17	0.69

注: Mg<sup>#</sup> = mol Mg / (Mg + Fe<sup>2+</sup>); δEu = Eu<sub>N</sub> / SQRT(Sm<sub>N</sub> \* Gd<sub>N</sub>)

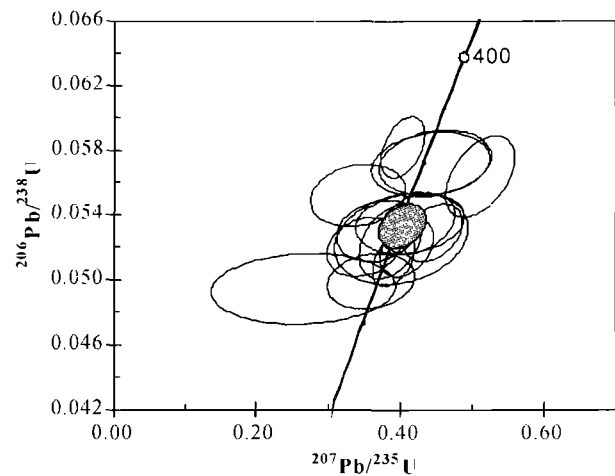


图3 锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图

Fig. 3 U-Pb Concordia plot for zircons analyzed by SHRIMP

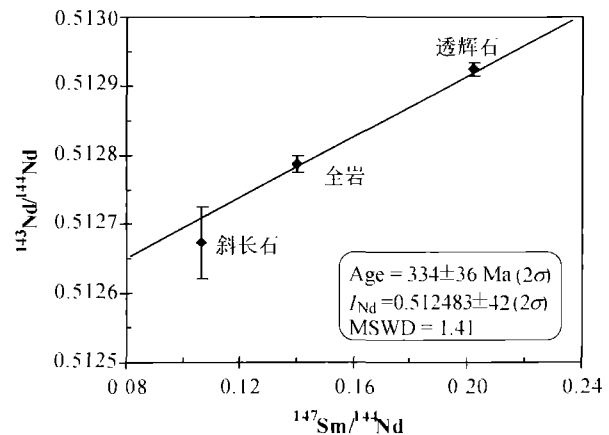


图4 企鹅山群玄武岩的 Sm-Nd 等时线图

Fig. 4 Sm-Nd isochron for the basalt within Qi'eshan Group

## 5.2 微量元素

企鹅山群玄武岩的稀土总量在 43.64 ~ 112.58ppm 之间,约为球粒陨石(Sun and McDonough, 1989)稀土含量的 20 ~ 60 倍。除样品 TW-8 的  $(La/Yb)_N$  为 9.35 外,其他样品在 1.89 ~ 5.14 之间。玄武岩样品的  $\delta Eu$  都在 1.0 左右,说明玄武岩浆没有发生明显的斜长石结晶分异作用,但安山岩样品 TW-6-1 显示了较明显的负铕异常。可能指示了斜长石的结晶分异。稀土元素配分模式显示轻稀土相对富集、重稀土相对平坦的右倾特征。样品整体上显示岛弧火山岩的稀土元素配分模式(图 6),指示企鹅山群可能形成于俯冲带环境。

玄武岩样品 N-MORB 标准化的微量元素蛛网图显示(图 6):大离子亲石元素(Sr, Ba, Th)和轻稀土(La, Ce 等)明显富集,而高场强元素 Nb, Ta 和重稀土 Yb 及 Y 等相对亏损。企鹅山群玄武岩样品 Nb/La 比值在 0.21 ~ 0.54 之间,

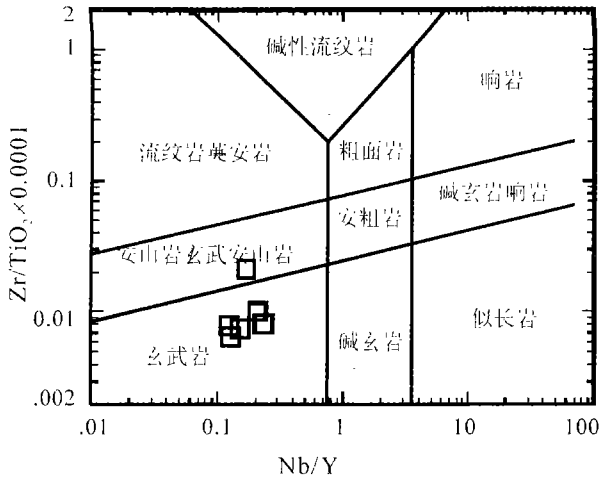


图5 企鹅山群样品 Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y 图解(底图据 Pearce, 1996)  
Fig.5 Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y diagram for Qi'eshan Group basalts (after Pearce, 1996)

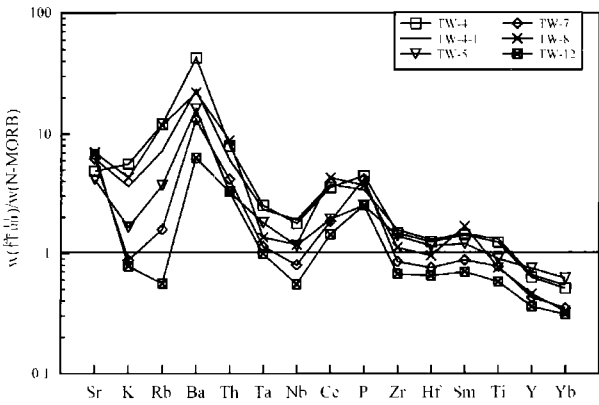


图6 企鹅山群样品稀土元素配分模式图(球粒陨石据 Sun and McDonough, 1989)  
Fig.6 Chondrite-normalized REE diagrams for Qi'eshan Group samples (Chondrite from Sun and McDonough, 1989)

Ce/Pb 比值在 3.5 ~ 10.8 之间(除 TW-5 异常偏高外),与 N-MORB (Nb/La = 0.93, Ce/Pb = 25) 相比都明显偏低,具有岛弧火山岩的特征。样品相对贫 K 和 Rb,这正是岛弧拉斑玄武岩的特点。

如上文所述,稀土元素配分模式和微量元素蛛网图都显示企鹅山群玄武岩具有岛弧火山岩的特征。流体不活动性元素的判别图解可以为企鹅山群玄武岩构造背景提供进一步的证据。在 Th-Ta-Hf (Wood D. A., 1980, 图8)和 Zr-Y-Nb (图9)的玄武岩构造环境图解中(Wood D. A., 1980; Meschede M., 1986),玄武岩样品都落在岛弧玄武岩区,进一步支持企鹅山群形成于俯冲带环境的认识。

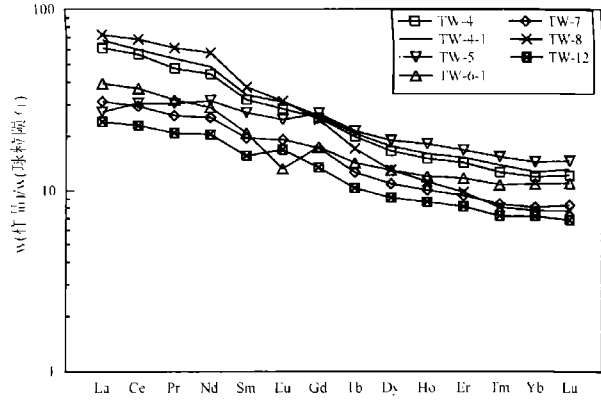


图7 企鹅山群玄武岩样品微量元素 N-MORB 蛛网图 (N-MORB 值据 Sun and McDonough, 1989)  
Fig.7 N-MORB-normalized multi-element plots for Qi'eshan Group basalts (N-MORB from Sun and McDonough, 1989)

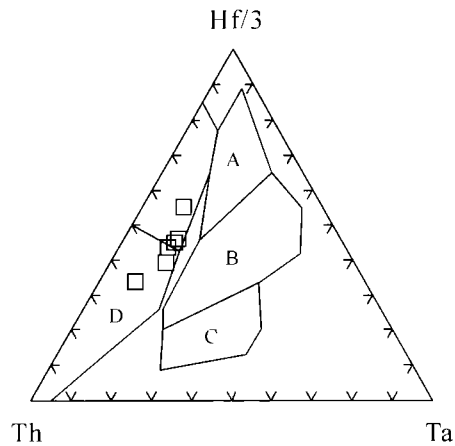


图8 企鹅山群玄武岩 Th-Ta-Hf 构造环境判别图 (底图据 Wood, 1980)  
A: N-MORB; B: E-MORB; C: 钙碱性板内玄武岩; D: 岛弧玄武岩  
Fig.8 Th-Ta-Hf tectonic diagram for Qi'eshan Group basalts (after Wood, 1980)  
A: N-MORB; B: E-MORB and within-plate alkaine basalt; C: within-plate alkaine basalt; D: volcanic arc basalt

## 6 讨论与结论

芮宗瑶等(2002a)用两种方法获得了含矿围岩的同位素年龄。

(1)全岩 Sm-Nd 等时线年龄  $416 \pm 120$  Ma,这一结果是作者在分析的7件全岩样品 Sm-Nd 同位素组成的基础上,只根据其中3个点(2件富钠质火山岩和1件英安岩)构成的等时线获得的。实际上,如果将原文表4中5件富钠质火山岩的4件进行拟合(其中原序号2的数据因表列结果与图示结果不一致而不便考虑),可以获得具有更好相关系数

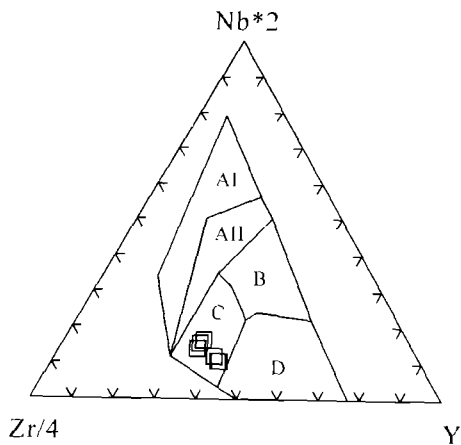


图9 企鹅山群玄武岩 Zr-Y-Nb 构造环境判别图(底图据 Meschede, 1986)

A I: 板内碱性玄武岩; A II: 板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B: E-MORB; C: 板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D: N-MORB 和火山弧玄武岩

Fig. 9 Zr-Y-Nb tectonic diagram for Qi' eshan Group basalts (from Meschede, 1986)

A I: within-plate alkaine basalt; A II: within-plate alkaine basalt and theoleiite; B: E-MORB; C: within-plate and volcanic arc basalt; D: N-MORB and volcanic arc basalt

( $R = 0.997$ ,  $MSWD = 0.23$ ) 的等时线, 其年龄值为 271 Ma, 远低于作者认为的泥盆纪。由于矿区内富钠质火山岩可能受到了成矿阶段富 Na、Si 流体的交代(陈文明等, 2002), Sm-Nd 同位素体系很可能遭到破坏。因此, 上述 Sm-Nd 等时线年龄结果不具有地质意义。

(2) 根据单颗粒锆石 U-Pb 法获得两组年龄:  $443 \pm 26$  Ma 和 393 Ma。如原文所述, 第一组锆石可能是捕获锆石(芮宗瑶等, 2002a), 而第二组年龄的样品测试数据相当有限, 不具有代表性。所以, 芮宗瑶等(2002a)获得的围岩时代有很大的不确定性。此外, 由于玄武岩中 Zr 含量较低, 且成岩时间短, 一般难以从中选出锆石, 如果选出, 其锆石的成因往往较复杂。刘德权等(2003)获得的土屋矿区及外围矿化玄武岩中锆石很分散的 SHRIMP U-Pb 年龄值也证实如此, 而相对集中的年龄值只有  $320.1 \pm 7.7$  Ma (锆石颗粒数  $n = 9$ )。

对于含矿花岗斑岩的时代, 芮宗瑶等(2002a)获得的全岩 Rb-Sr 等时线年龄值为  $369 \pm 69$  Ma, 数据质量不高, 而且在矿区内全岩样品 Rb-Sr 同位素体系很难保证封闭。从芮宗瑶等(2002a)提供的含矿斑岩中锆石的电子探针扫描照片(原文图 2)来看, 锆石结构较复杂, 尤其是第二颗锆石, 具有磨圆的特征, 因此所获颗粒锆石的年龄值能否代表含矿斑岩的成岩时代是有疑问的。最近陈富文等(2005)报道了土屋和延东矿床含矿斑岩的锆石 SHRIMP 年龄, 分别为  $334 \pm 3$  Ma 和  $333 \pm 4$  Ma。从测试方法和数据的精度看, 该年龄值应代表斑岩的成岩时代。此外, 已对矿石矿物或脉石矿物进

行的同位素定年工作表明, 除含矿石英<sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar 法的结果(秦克章等, 2002h)偏老外, 其他年龄值在误差范围内一致(表 1)。

本文获得的远矿围岩中安山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和玄武岩的 Sm-Nd 等时线年龄分别为 336.5 Ma 和 334 Ma, 一致地指示企鹅山群形成于早石炭世。野外观察表明, 企鹅山群火山岩和含矿斑岩可能属于同一火山机构。因此, 本文获得的企鹅山群火山岩年龄结果与陈富文等(2005)报道的含矿斑岩年龄的接近符合地质事实, 即与斑岩型铜矿床的成岩成矿特点是一致的。此外, 本文的年龄结果还与区调填图和古生物资料的结论(刘德权等, 2003)相一致。

根据上述讨论, 排除表 1 中明显不可靠的年龄数据, 根据较可靠的年龄值与本文所获得的新资料, 可见土屋-延东斑岩铜矿的成岩成矿时代在误差范围内集中于 320 ~ 350 Ma 的时间段, 表明其成岩成矿的同期性。当然, 从实际地质作用的时序上考虑, 矿床的形成应稍晚于围岩和含矿斑岩, 但由于不同同位素定年方法技术的制约和精度的差别, 目前要精确地分辨出这一时间上的细微差别还是有困难的。尽管如此, 上述这些较为可靠的年龄结果都证明, 土屋-延东斑岩铜矿的成岩成矿时代在早石炭世, 围岩不属于泥盆纪是可以定论的。

马瑞士等(1993)认为觉罗塔格构造带是由于古天山洋沿卡拉麦里缝合带向南俯冲形成的双岛弧带。在此基础上, 芮宗瑶等(2002a, 2002b)依据其所得的企鹅山群年代结果, 将土屋-延东地区归属于大南湖-头苏泉泥盆纪岛弧带。新的年代学工作表明, 大南湖岛弧带的时代要早于中泥盆世(宋彪等, 2002), 很可能是早泥盆世的产物。而企鹅山群形成于早石炭世, 与大南湖岛弧带不属于同一时代, 两者时代相差超过 50 Ma, 不应归为同一俯冲事件的产物。把企鹅山群归于大南湖岛弧带, 与年代学资料严重抵触。

企鹅山群玄武岩属于岛弧拉斑玄武岩系列。稀土及微量元素和判别图解都显示俯冲带火山岩的典型特征, 形成于俯冲环境。对土屋铜矿含矿斑岩的研究表明, 斜长花岗斑岩具有埃达克岩的特征(张连昌等, 2004), 很可能是俯冲洋壳部分熔融的产物。综合以上, 这些证据都一致地表明企鹅山群形成于俯冲环境, 不支持拉张环境及火山型被动大陆边缘的认识(肖序常, 1992; 成守德等, 2001; 冯益民等, 2002; 陈富文等, 2003; 何国琦等, 1994)。

**致谢** 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)和 2002 年度中国科学院西部之光项目的资助。野外工作得到李文铅和张连昌博士的热情帮助。

## References

- Chen Fuwen, Li Huaqin, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Wang Jinliang, Liu Dequan, Tang Yanling, Zhou Ruhong. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Its Geological Significance of

- Mineralization in Tuwu-Yandong Porphyry Copper Mine, East Tianshan Mountain. *Acta Geologica Sinica*, 79 (2): 256 - 261 (in Chinese with English abstract)
- Chen Wenming and Qu Xiaoming. 2002. Host Rock of Tuwu-Yandong (Porphyry) Copper Deposit in Tianshan Mountains. *Mineral Deposits*, 21(4): 331 - 340 (in Chinese with English abstract)
- Compston W, Williams I S, Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *J Geophys Res*, 89: B525 - 534
- Ji Jinsheng, Tao Hongxiang, Zeng Zhangren, Yang Xingke, Zhang Lianchang. 1994. Geology and deposit of the golden ore belt in Eastern Tianshan mountain. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 200 (in Chinese with English abstract)
- He G Q, Li M S and Liu D Q. 1994. Paleozoic crust evolution and ore deposit of Xinjiang, China. Wulumuqi: People's Publishing House of Xinjiang Province, 1 - 437 (in Chinese)
- Hoskin P W O, Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J Metamorphic Geol*, 18, 423 - 439
- Liu Dequan, Chen Liuchuan, Wang Denghong, Tang Yanling, Zhou Ruhong, Wang Jinliang, Li Huaqin, Chen Fuwen. 2003. A Discussion on Problems Related to Mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo Orefield In Hami, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 22 (4): 334 - 344 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig K R. 1999. IsoplotEx v. 2.6. Berkeley Geochronological Center Spec Publ no. 1a
- Ma Rui Shi, Wang Ciyin, Ye Shangfu. 1993. Tectonic Framework and Crustal Evolution of Eastern Tianshan mountains. Nanjing, Publishing House of Nanjing University. 1 - 225 (in Chinese)
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207 - 218
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, 274: 321 - 355
- Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, Zhu Baoqing, Feng Yimin, Yu Haifeng, Xiou Qunye. 2002a. Plate Tectonics Division, Evolution and Metallogenic Settings in Eastern Tianshan Mountains, NW-China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302 - 307 (in Chinese with English abstract)
- Qin Kezhang, Sun Shu, Li Jiliang, Xiao Wenjiao, Hao Jie. 2002b. Division of Six stages of Major metallic Deposits in Northern Xinjiang and its Implications. *Mineral Deposits*, 21(Suppl.): 203 - 207 (in Chinese)
- Pearce J. A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. in: Wymann, D. A. (eds.). Trace element Geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12: 79 - 113
- Rui Zongyao, Wang Futong, Li Henghai, Dong Lianhui, Wang Lei, Jiang Lifeng, Liu Yulin, Wang Longsheng, Chen Weishi. 2001. New Progress of Tuwu Porphyry Copper Deposit Belt, Xinjiang. *Chinese Geology*, 28 (2): 11 - 16 (in Chinese with English abstract)
- Rui Zongyao, Wang Longsheng, Wang Yitian, Liu Yulin. 2002a. Discussion on Metallogenic Epoch of Tuwu and Yandong Porphyry Copper Deposits in Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 21(1): 16 - 22 (in Chinese with English abstract)
- Rui Zongyao, Liu Yulin, Wang Longsheng, Wang Yitian. 2002b. The Eastern Tianshan Porphyry Copper Belt in Xinjiang and its Tectonic Frame Work. *Acta Geologica Sinica*, 76 (1): 83 - 94 (in Chinese with English abstract)
- Song Biao, Li Jinyi, Li Wenqian, Wang Kezhuo, Wang Yu. 2002. SHRIMP dating of zircons from Dannahu and Kezirkalasayi granitoid batholith in southern margin of Tuha Basin and their geological implication. *Xinjiang Geology*, 20(4): 342 - 345 (in Chinese with English abstract)
- Sun S. S. and McDonough W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process. in: Saunders A. D., Norry M. J. (eds.). *Magmatism in the Oceanic Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 313 - 345
- Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, Wang Lei, Jiang Lileng, Zhang Zheng. 2001. The Character of Tuwu Porphyry Copper Deposit and the significance of its being found, Xinjiang. *Chinese Geology*, 28 (1): 36 - 39 (in Chinese with English abstract)
- Wood D. A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45: 326 - 336
- Zhang LC, Qin KZ, Ying JF, Xia B and Shu JS. 2004. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259 - 268 (in Chinese with English abstract)

#### 附中文参考文献

- 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 王登红, 王金良, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2005. 东天山土屋—延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义. *地质学报*, 79 (2): 256 - 261
- 陈文明, 曲晓明. 2002. 论东天山土屋—延东(斑岩)铜矿的容矿岩. *矿床地质*, 21(4): 331 - 340
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁, 杨兴科, 张连昌. 1994. 东天山康古尔金矿带地质与成矿. 北京:地质出版社, 1 - 200
- 刘德权, 陈毓川, 王登红, 唐延龄, 周汝洪, 王金良, 李华芹, 陈富文. 2003. 土屋—延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论. *矿床地质*, 22(4): 334 - 344
- 何国琦, 李茂松, 刘德权. 1994. 中国新疆古生代地壳演化与成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1 - 437
- 马瑞士, 王锡银, 叶尚夫. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京: 南京大学出版社, 1 - 225
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 朱宝清, 冯益民, 于海峰, 修群业. 2002a. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. *新疆地质*, 20(4): 302 - 307
- 秦克章, 孙枢, 李继亮, 肖文交, 郝杰. 2002b. 北疆古生代矿床组合的六大构造阶段划分及其意义. *矿床地质*, 21(增刊): 203 - 207
- 芮宗瑶, 王福同, 李恒海, 董连慧, 王磊, 姜立丰, 刘玉琳, 王龙生, 陈伟十. 2001. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展. *中国地质*, 28 (2): 11 - 16
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 刘玉琳. 2002a. 东天山土屋和延东斑岩铜矿床时代讨论. *矿床地质*, 21(1): 16 - 22
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 王义天. 2002b. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局. *地质学报*, 76(1): 83 - 94
- 宋彪, 李锦铁, 李文铅, 王克卓, 王瑜. 2002. 吐哈盆地南缘克孜尔—卡拉萨依和大南湖花岗质岩基锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. *新疆地质*, 20(4): 342 - 345
- 王福同, 冯京, 胡建卫, 王磊, 姜立丰, 张征. 2001. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义. *中国地质*, 28(1): 36 - 39
- 张连昌, 秦克章, 莫基卡, 夏斌, 舒建生. 东天山土屋—延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. 2004. *岩石学报*, 20 (2): 259 - 268