

新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及其成矿作用研究*

周涛发^{1,2} 袁峰^{1,2} 张达玉¹ 范裕¹ 刘帅¹ 彭明兴³ 张建滇³

ZHOU TaoFa^{1,2}, YUAN Feng^{1,2}, ZHANG DaYu¹, FAN Yu¹, LIU Shuai¹, PENG Mingxing³ and ZHANG JianDian³

1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074

3. 新疆地质矿产勘查开发局第一地质大队, 昌吉 831100

1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. NO. 1 Geology Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration, Changji 831100, China

2009-05-27 收稿, 2009-07-04 改回.

Zhou TF, Yuan F, Zhang DY, Fan Y, Liu S, Peng MX and Zhang JD. 2010. Geochronology, tectonic setting and mineralization of granitoids in Jueluotage area, eastern Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 478–502

Abstract There distributes a lot of magmatic rocks, most of them are granitic rocks in the Jueluotage area, eastern Tianshan, Xinjiang. The previous research on these granitic intrusions is inadequate. In this work, the geological characteristics of the major granitic plutons in the area have been investigated, and their isotopic ages are systematically dated through the zircon LA-ICPMS U-Pb method. The precise age data of the 16 granitic plutons are as follows: Jingerquan pluton 376.9 ± 3.1 Ma, Xifengshan pluton 349.0 ± 3.4 Ma, Shiyintan pluton 342 ± 11 Ma, Changtiaoshan pluton 337.4 ± 2.8 Ma, Tianmu pluton 320.2 ± 3.1 Ma, Bailingshan pluton 317.7 ± 3.7 Ma, Baishiquan pluton 303 ± 18 Ma, Dikan pluton 288.0 ± 2.5 Ma, Huangshan pluton 288 ± 17 Ma, Baishandong pluton 303 ± 18 Ma, Guandao pluton 284.1 ± 5.8 Ma, Hongshi pluton 282.7 ± 4.2 Ma, Longdong pluton 276.2 ± 2.5 Ma, Duotoushan pluton 271.7 ± 5.5 Ma, Shuangchagou pluton 252.4 ± 2.9 Ma and Tudun pluton 246.2 ± 2.6 Ma. These age data provide important information and bases for the investigations of genetic relation between the magmatic activities and the tectonic evolution in this area, as well as with the deep dynamic processes. Combined with some known chronological data of the granitic plutons in this area from other workers, this article has constrained the intrusion and crystallization time framework of the granitic plutons in Jueluotage to be between 386 Ma and 230 Ma. The granitoid magmatic activity can be divided into four stages, which are the Late Devonian stage (386.5–369.5 Ma), the Early Carboniferous stage (349–330 Ma), the Late Carboniferous to Late Permian stage (320–252 Ma) and the Middle Triassic stage (246–230 Ma). The early three stages of the granitoid activities tend to be lasting longer and more intense from the first to the third stage, and the third stage reached the peak in the area, and the magmatic activities in the forth stage became weak and scattered. The intrusion ages of the granitic plutons became younger from Haerlike-Dannanhu island arc belt, to Aqishan-Yamansu island arc belt, then to Kangguer-Huangshan ductile shear zone, and the granitoids also showed a younging trend from the east of study area to the mid-west of study area, then to the ductile shear zone. Based on the post-collision theory and the results for the orogeny of Central Asia and northern Xinjiang, there display affirmative relationship between the granitoid magmatic activity and the tectonic evolution in the study area. This article further proposes a model for the evolution of granitoids in Jueluotage area: The magmatic activity in this area had undergone through the pre-collisional stage, the collisional stage, the post-collisional stage and the within-plate stage, which completely correspond with the four temporal stages of granitoids, and most of granitoids formed in the post-collisional stage. In Jueluotage area, the mineralization with the four stages granitoids started from no obvious mineralization, to the porphyry copper deposits and volcanic iron deposits, then to the ductile shear zone type gold deposits and skarn-type Ag(Cu) deposits, lastly to the

* 本文受国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411304、2001CB409800)、国家自然科学基金项目(40772057)、新世纪优秀人才支持计划项目、中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室基金项目(GPMR200706)和安徽省优秀青年科技基金项目(08040106907、04045063)联合资助。

第一作者简介: 周涛发,男,1964年生,教授,博导,矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: tfzhou@hfut.edu.cn

万方数据

porphyry quartz veins deposits. The porphyry copper deposits controlled by the collisional geodynamic process and the ductile shear zone type gold deposits controlled by the post-collisional geodynamic process are the main mineralization types with granitoids in the study area. This work systematically expatiated the granitoids in Jueluotag area with the characters of temporal and spatial distribution, the relationships with the tectonic evolution and mineralization, which supplied a solid foundation for further research on the magmatic evolution and mineralization in Late Paleozoic, especially in the post-collisional stage in northern Xinjiang.

Key words LA-ICPMS U-Pb; Granite; Post-collision; Geodynamic process; Jueluotage; Eastern Tianshan, Xinjiang

摘 要 东天山觉罗塔格地区岩浆岩非常发育,以花岗岩类分布最为广泛,对其研究还较为薄弱。本文对觉罗塔格地区主要的花岗岩类岩体系统开展了地质特征研究并进行了同位素精确测年,报道了区内16个主要花岗岩类岩体的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄:镜儿泉岩体 376.9 ± 3.1 Ma、西凤山岩体 349.0 ± 3.4 Ma、石英滩岩体 342 ± 11 Ma、长条山岩体 337.4 ± 2.8 Ma、天目岩体 320.2 ± 3.1 Ma、百灵山岩体 317.7 ± 3.7 Ma、白石泉岩体 303 ± 18 Ma、迪坎岩体 288.0 ± 2.5 Ma、黄山岩体 288 ± 17 Ma、白山东岩体 284.5 ± 4.5 Ma、管道岩体 284.1 ± 5.8 Ma、红石岩体 282.7 ± 4.2 Ma、陇东岩体 276.2 ± 2.5 Ma、多头山岩体 271.7 ± 5.5 Ma、双岔沟岩体 252.4 ± 2.9 Ma、土墩岩体 246.2 ± 2.6 Ma,上述定年结果为研究区岩浆活动与区域构造演化及深部过程的关系研究提供了可靠的年代学支持。结合前人已有的部分年代学成果认为,觉罗塔格地区花岗岩类的形成年龄分布在 $386 \sim 230$ Ma 之间,岩浆活动可分为晚泥盆世($386.5 \sim 369.5$ Ma)、早石炭世($349 \sim 330$ Ma)、晚石炭世-晚二叠世($320 \sim 252$ Ma)、早中三叠世($246 \sim 230$ Ma)等4个阶段。前3个阶段岩浆活动具有持续时间逐渐变长、岩浆活动逐渐加剧的特点,并在第三阶段达到顶峰,而第四阶段岩浆活动则明显变弱。花岗岩类岩浆活动在时空分布上表现为,自哈尔里克-大南湖岛弧带→阿奇山-雅满岛弧带→康古尔-黄山韧性剪切带,岩体侵位由早到晚;自研究区东部→中西部→沿韧性剪切带,岩体侵位由老到新。结合区域构造演化研究成果认为,觉罗塔格地区花岗岩类岩浆活动与区域构造演化具有很强的耦合关系,花岗岩类在前碰撞阶段、主碰撞阶段、后碰撞阶段、板内阶段等4个构造演化阶段均有发育,与花岗岩类在时间分布上的4个阶段完全对应,其中尤以后碰撞构造演化阶段花岗岩类的分布最广泛、岩浆活动最强烈。觉罗塔格地区与4个阶段花岗岩类有关的成矿作用由早到晚具有无明显矿化→斑岩型铜矿、火山岩型铁矿→韧性剪切带型金矿、夕卡岩型银(铜)矿→斑岩-石英脉型钼矿的演化特点,其中以对应于主碰撞阶段的斑岩型铜矿和后碰撞阶段的韧性剪切带型金矿最为发育。本文系统阐述了东天山觉罗塔格地区中酸性岩体的时空格架、与区域构造演化的耦合、与成矿作用的关系,为北疆地区晚古生代特别是后碰撞背景下的岩浆演化及其成矿关系的研究提供了有力支持。

关键词 LA-ICPMS U-Pb; 花岗岩; 后碰撞; 地球动力学; 觉罗塔格; 东天山; 新疆

中图分类号 P588.121; P597.3

1 引言

新疆东天山觉罗塔格地区北邻吐(鲁番)-哈(密)盆地,区内岩浆岩非常发育,其中又以花岗岩类分布最为广泛,该区还是新疆北部重要的贵金属、有色金属矿产分布区(董连慧等,2005^①;王京彬等,2006),成矿作用与岩浆活动密切相关。对于觉罗塔格地区广泛发育的花岗岩类的系统研究还较为薄弱,例如,在年代学方面,目前主要是以 Rb-Sr 等时线年龄、个别单颗粒锆石 U-Pb 稀释法年龄为主测得的年代学数据(车自成等,1989;王碧香等,1989;廖静娟等,1993;徐湘康等,1994;杨甲全等,1995;李华芹等,1998,2003,2004;秦克章等,2000;毛景文等,2002;王瑜等,2002;李文明等,2002;Li *et al.*,2005;王龙生等,2005;陈郑辉等,2006;李永军等,2007;陈文等,2007),仅少数中酸性岩体进行过锆石 SHRIMP U-Pb、锆石 LA-ICPMS U-Pb 精确定年(刘德权等,2003;李华芹等,2004,2006;陈富文等,2005;王龙生等,2005;任燕等,2006;李少贞等,2006;李亚萍等,2006;吴华等,2006;唐俊华等,2007),此外,区内很多岩体仍缺少同位素年龄约束;已有的测年结果表明,相同岩体因测年方法不同,得出的年龄值

万方数据

相差很大,成岩年龄仍有待进一步精确确定;同时,觉罗塔格地区中酸性岩体时空分布格架和构造演化关系尚缺乏系统性研究。这些不足都严重制约了研究区岩浆活动与区域构造演化、深部过程以及成岩成矿机制等的深入探讨。本文在前人已有研究成果基础上,对新疆东天山觉罗塔格地区主要的花岗岩类岩体开展地质特征研究,并系统进行锆石 LA-ICPMS U-Pb 精确测年,力图阐明觉罗塔格地区花岗岩类的时空分布格架及其与区域构造演化、成矿作用的关系,为进一步深入研究区域岩浆演化和深部过程的关系以及岩浆活动与成矿的关系等提供支持。

2 区域地质背景

新疆觉罗塔格地区在地理位置上西起吐鲁番小热泉子以西,东至甘(肃)新(疆)省界,东西长约 560 km,南北宽约 110 km,面积约 62000 km²,地理坐标范围约为东经 89°00' ~ 96°00'、北纬 41°40' ~ 42°40'。构造位置上,南起中天山北缘

① 董连慧,崔彬,屈迅等.2005.东天山中段铜矿找矿靶区评价及大型矿床定位预测.报告书,1-268

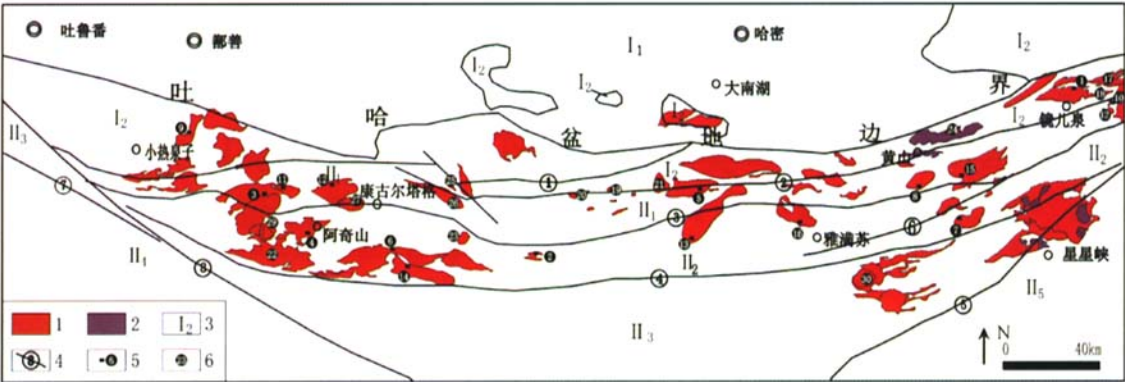


图1 新疆东天山觉罗塔格地区构造及花岗岩类分布略图(据弓小平等,2004 和新疆地矿局,1995^①修改)
Fig.1 Sketch geologic map showing main structures and granites in Jueluotage area, eastern Tianshan, Xinjiang (modified after Gong et al., 2004)

1-花岗岩类;2-基性-超基性岩类;3-构造单元(I₁-吐哈地块,I₂-哈尔里克-大南湖岛弧系;II₁-康古尔-山韧性剪切带,II₂-阿奇山-满苏岛弧系,II₃-中天山地块,II₄-南天山晚古生代弧后盆地,II₅-北山裂谷);4-主干断裂(①大草滩断裂,②康古尔塔格-黄山深大断裂,③雅满苏断裂,④阿奇库都克断裂,⑤星星峡断裂,⑥托克逊干沟断裂,⑦中天山南缘断裂,⑧雅满苏-干湖断裂);5-采样位置;6-研究岩体(①-镜儿泉岩体;②-西凤山岩体;③-石英滩岩体;④-长条山岩体;⑤-天目岩体;⑥-百灵山岩体;⑦-白石泉岩体;⑧-黄山岩体;⑨-迪坎岩体;⑩-白山东岩体;⑪-管道岩体;⑫-红石岩体;⑬-陇东岩体;⑭-多头山岩体;⑮-双岔沟岩体;⑯-土墩岩体;⑰-四顶黑山;⑱-咸水泉;⑲-土屋;⑳-延东;㉑-赤湖;㉒-红云滩;㉓-维权;㉔-三岔口;㉕-彩霞山东;㉖-克孜尔塔格;㉗-康古尔;㉘-白山;㉙-都善采石场;㉚-尾亚),编号①~⑯岩体为本文研究,编号⑰~⑳岩体引用前人研究成果

阿其库都克-沙泉子断裂,北抵吐哈盆地南部的底坎尔-大南湖一线(李锦轶,2004),处于准噶尔洋壳板块与塔里木陆壳板块的聚合部位,中天山隆起和吐哈盆地之间(图1)。

觉罗塔格地区的地层可划分为三个地层小区(李文明等,2002):北部的哈尔里克-大南湖地层小区、南部的阿奇山-雅满苏地层小区、两者之间的康古尔-黄山韧性剪切带组成的构造无序地层小区,出露的地层主要以石炭系海相火山-沉积岩系为主,部分有浅变质,另有少量的志留系、泥盆系、二叠系及中生代地层出露。区内构造作用强烈,自北向南发育有大草滩断裂、康古尔深大断裂、雅满苏断裂和阿齐库都克沙泉子断裂等主干断裂,都呈近东西向延伸(图1)。区内岩浆作用强烈,花岗岩类分布以康古尔塔格深大断裂为界,按构造单元由北向南可划分为三个岩带:哈尔里克-大南湖花岗岩带(图1-I₂)、康古尔-黄山韧性剪切带花岗岩带(图1-II₁)、阿奇山-雅满苏岛弧花岗岩带(图1-II₂)。

在结合前人对研究区内花岗类研究成果的基础上,本文对其中16个具有代表性的花岗质岩体进行了较为详细的研究并采样。这16个岩体为:镜儿泉岩体、西凤山岩体、石英滩岩体、长条山岩体、天目岩体、百灵山岩体、白石泉岩体、黄山岩体、迪坎岩体、白山东岩体、管道岩体、红石岩体、陇东岩体、多头山岩体、双岔沟岩体、土墩岩体等(图1),各岩体地质特征、岩石学特征分述如下。

(1) 镜儿泉岩体

镜儿泉岩体位于镜儿泉煤矿北面,面积约120km²。岩体被第四系覆盖物,接触关系不明显,其北边出露有泥盆纪大南湖组(D₁d)、东部出露有前寒武纪星星峡群(ChX)。岩体发生了较强的变质变形作用,沿近东西向展布。主体岩性为花岗岩,灰白色,略带黄色,花岗结构,块状构造;矿物有斜长石、石英、角闪石等;斜长石半自形他形粒状,粒径可达8mm,部分颗粒见聚片双晶,含量约60%,石英粒状,粒径小于2mm(图2a)。年代学采样点坐标为N42°31′30.0″、E95°52′21.3″。

(2) 西凤山岩体

西凤山岩体位于长城山西北5km处,出露面积约5km²。岩体产出围岩为石炭系雅满苏组(C₁y),其西北部边缘有热液石英脉型金矿产出。主体岩性为钾长花岗岩,有定向构造,明显受构造控制。岩石呈肉红色,花岗结构,块状构造;粒度粗,钾长石含量>50%(图2b)。年代学采样点坐标为N41°51′18.4″、E91°11′55.8″。

(3) 石英滩岩体

石英滩岩体位于阿奇山西部约20km处,出露面积约60km²。岩体侵入于石炭系雅满苏组(C₁y)中,呈近东西向展布,其西部边缘分布有浅层低温热液型的石英滩金矿床。主体岩性为钾长花岗岩,红褐色,花岗结构,块状构造;矿物成分主要有钾长石、石英、斜长石和少量暗色矿物组成,钾长石颗粒较大,可达5mm,晶形完好,石英呈自形粒状,粒径在2~

① 新疆地矿局. 1995. 新疆北部及邻区贵重、有色金属矿产成矿图说明书

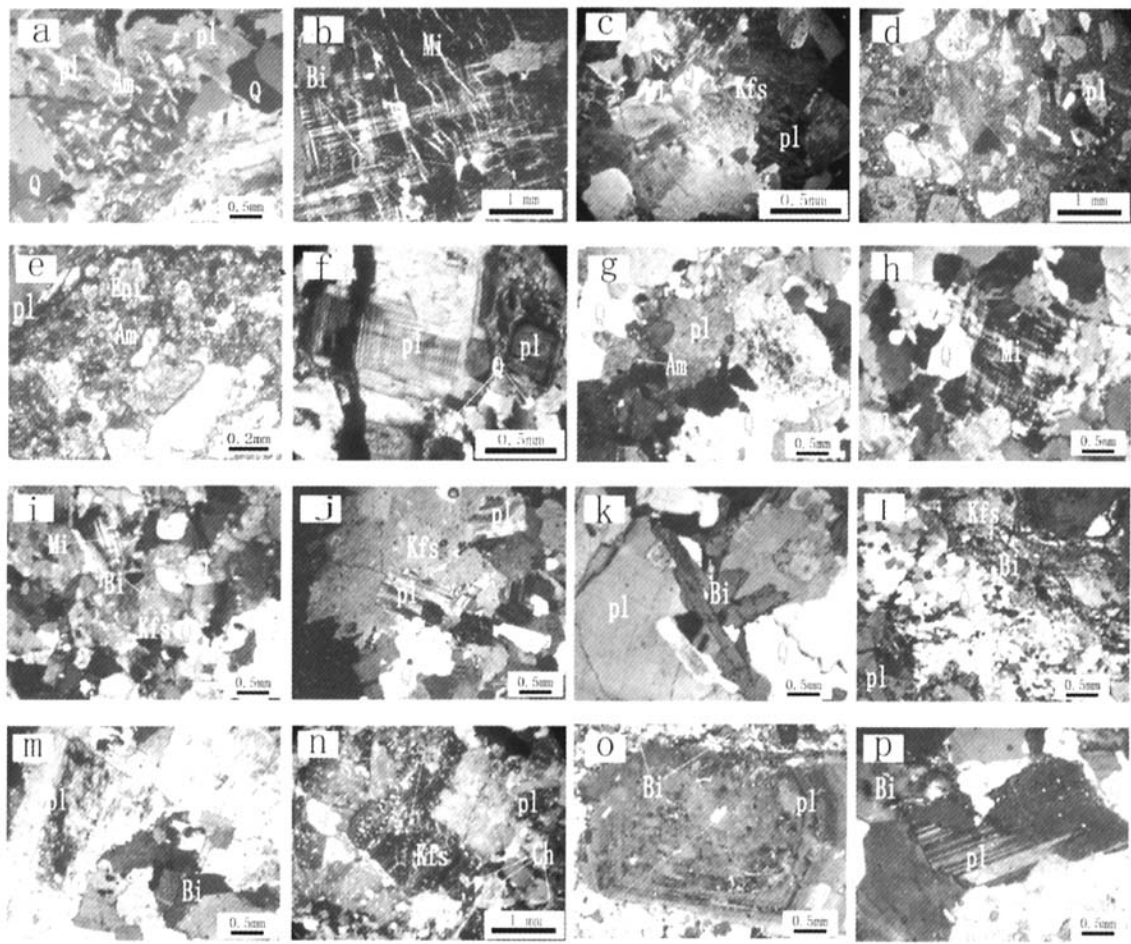


图2 进行同位素定年岩体的主要岩性正交偏光显微照片

a-镜儿泉岩体,花岗岩;b-西凤山岩体,钾长花岗岩;c-石英滩岩体,钾长花岗岩;d-长条山岩体,石英闪长(玢)岩;e-天目岩体,钾长花岗岩;f-百灵山岩体,花岗闪长岩;g-白石泉岩体,钾长花岗岩;h-黄山岩体,钾长花岗岩;i-迪坎岩体,似斑状钾长花岗岩;j-白山东岩体,花岗岩;k-管道岩体,花岗斑岩;l-红石岩体,花岗岩;m-陇东岩体,二长花岗岩;n-多头山岩体,钾长花岗斑岩;o-双岔沟岩体,花岗闪长岩;p-土墩岩体,钾长花岗岩。Am-角闪石;Bi-黑云母;Cc-方解石;Ch-绿泥石;Epi-绿帘石;Kfs-钾长石;Mi-微斜长石;Pl-斜长石;Q-石英;Se-绢云母

Fig. 2 Crossed polarized light micrographs of pluton samples selected for isotopic dating

6mm 之间,暗色矿物主要为黑云母(图 2c)。年代学采样点坐标为 N 42°05'58.1"、E 90°21'19.2"。

(4)长条山岩体

长条山岩体位于康古尔以南约 8km,出露面积约为 30km²。岩体与石炭纪雅满苏组(C₁y)呈侵入接触关系,岩体的东北部发现有火山热液成因的铁矿床。主体岩性为石英闪长(玢)岩,灰褐色,斑状结构,块状构造;斑晶主要由斜长石、石英及少量暗色矿物组成,斜长石灰白色,呈柱状、粒状分布,粒径大小在 0.2~0.6mm 之间,石英呈粒状,粒径在 0.2~0.5mm 之间,均匀分布于斜长石之中,暗色矿物主要为角闪石,呈星点状产出,含量较少;基质主要为隐晶质成分,也有少量的石英与斜长石微晶(图 2d)。年代学采样点坐标为 N41°55'21.5"、E90°46'49.1"。

万方数据

(5)天目岩体

天目岩体位于赤湖铜矿东南,出露面积约 10km²。岩体侵位于下石炭统千墩组(C₁g)中,岩体呈近东西向产出,并被康古尔断裂穿过,受构造控制作用明显。主体岩性为钾长花岗岩,红棕色,粗粒花岗结构,块状构造;主要由钾长石、斜长石、石英和暗色矿物组成,钾长石自形粒状,粒径可达 10mm,一般为 2~6mm,微斜长石半自形粒状,1mm 左右,有格子双晶现象,斜长石呈半自形粒状,粒径 1~8mm 之间,多在 5mm 左右,排列紧密,聚片双晶发育,含量比钾长石少;石英半自形-他形结构,粒径一般为 1~5mm 左右,偶见晶体内部包含有黑云母晶体,暗色矿物为黑云母、角闪石等,呈浸染状分布,约 10%(图 2e)。年代学采样点坐标为 N42°10'46.9"、E93°15'33.7"。

(6) 百灵山岩体

百灵山岩体位于十里坡南部, 出露面积约 100km²。岩体侵入于中石炭统干墩组(C_{1g})中, 呈东西向分布, 岩体中发育有火山热液成因的百灵山磁铁矿为主的铁矿床。主体岩性为花岗闪长岩, 灰白色, 花岗结构, 块状构造; 主要由斜长石、石英、角闪石、黑云母等矿物组成, 斜长石呈半自形粒状、柱状, 粒径在 0.2~1mm 之间, 少数可达 2mm, 见有聚片双晶, 含量约 60%, 石英呈他形粒状, 充填于斜长石之间, 粒径在 0.1~0.5mm 之间, 角闪石呈暗绿色、半自形粒状, 粒径大小在 0.4~1mm 之间, 星点状分布(图 2f)。年代学采样点坐标为 $N41^{\circ}50'31.9''$ 、 $E91^{\circ}13'58.0''$ 。

(7) 白石泉岩体

白石泉岩体位于雅满苏镇东部约 100km, 出露面积约 5km², 岩体南部紧邻阿齐库都克断裂, 受构造控制作用明显。主体岩性为钾长花岗岩, 深红色, 花岗结构, 块状构造; 主要组成矿物有钾长石、斜长石、石英及少量暗色矿物, 斜长石与钾长石交错排列, 粒径在 0.2~1mm 之间, 暗色矿物少, 主要为黑云母(图 2g)。年代学采样点坐标为 $N41^{\circ}58'04.0''$ 、 $E94^{\circ}57'15.6''$ 。

(8) 黄山岩体

黄山岩体位于黄山铜镍矿南部约 10km 处, 出露面积约 6km²。岩体侵入地层为石炭系干墩组(C_{1g})。岩体受构造控制作用明显, 片麻状构造发育。主体岩性为钾长花岗岩, 红棕色, 花岗结构, 块状构造; 主要由钾长石、斜长石、石英和暗色矿物组成, 钾长石粒径在 1mm 左右, 格子双晶显著, 斜长石半自形, 粒径 0.5~2mm, 可见聚片双晶, 石英呈粒状, 粒径在 0.3~1mm, 分布于长石颗粒之间, 暗色矿物主要为黑云母, 自形片状, 0.2~0.7mm, 呈浸染状分布(图 2i)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}08'48.0''$ 、 $E94^{\circ}39'18.1''$ 。

(9) 迪坎岩体

迪坎岩体位于小热泉子东北部约 25km 处, 出露面积约 5km²。岩体侵入于石炭纪迪坎组(C_{2d})中。主体岩性为似斑状钾长花岗岩, 褐红色, 似斑状结构, 花岗结构, 块状构造; 主要矿物为钾长石、黑云母、斜长石和石英等, 钾长石自形粒状, 粒径在 0.5~2mm, 斜长石呈自形-半自形粒状, 粒径大小与钾长石相当, 石英他形粒状, 粒径在 0.3~0.8mm, 充填于钾长石与斜长石颗粒之间, 黑云母自形粒状, 星点状分布(图 2h)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}23'09.2''$ 、 $E89^{\circ}57'03.3''$ 。

(10) 白山东岩体

白山东岩体又称狼井岩体, 位于白山钼矿区东南约 6km。岩体侵入于石炭纪干墩组(C_{1g})地层中。主体岩性为花岗岩, 灰白色, 花岗结构, 块状构造; 主要组成矿物有斜长石、钾长石、石英及黑云母等, 斜长石自形, 0.2~3mm, 聚片双晶发育, 石英半自形粒状, 0.3~1mm, 充填于长石颗粒之间, 黑云母片状, 粒径在 0.5~1.5mm 间(图 2j)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}29'53.5''$ 、 $E95^{\circ}56'37.7''$ 。

(11) 管道岩体

万方数据

管道岩体位于阿奇山东北约 8km, 出露面积约 20km²。岩体侵入于下石炭统干墩组(C_{1g})地层中, 受康古尔韧性剪切带控制明显。主体岩性为花岗斑岩, 肉红色, 斑状结构, 块状构造; 斑晶矿物主要有斜长石、石英、少量黑云母, 斜长石呈自形柱状, 0.3~1.5mm 之间, 石英呈半自形-他形粒状, 浸染状分布, 黑云母星点状分布, 粒径在 0.3~0.5mm; 基质为斜长石、石英微晶(图 2k)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}09'20.3''$ 、 $E90^{\circ}32'55.8''$ 。

(12) 红石岩体

红石岩体位于康古尔塔格西北约 15km 处, 出露面积约 50km²。岩体侵入地层为下石炭统干墩组(C_{1g}), 其南部边缘发育有剪切带型红石金矿床。岩体受康古尔韧性剪切带控制。主体岩性为花岗岩, 褐红色, 花岗结构, 块状构造; 主要组成矿物为钾长石、斜长石和石英等(图 2l)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}09'20.2''$ 、 $E90^{\circ}48'10.2''$ 。

(13) 陇东岩体

陇东岩体位于雅满苏以西约 50km 处, 出露面积约 60km²。岩体侵入于下石炭统干墩岩组(C_{1g})。主体岩性为二长花岗岩, 灰白色, 花岗结构, 块状构造; 主要矿物有斜长石、钾长石、石英、黑云母等, 斜长石为半自形结构, 颗粒大小在 2~10mm, 聚片双晶发育, 微斜长石自形粒状, 0.5~3mm, 格子双晶发育, 石英呈他形粒状, 0.5~2mm, 分布于长石颗粒间, 黑云母自形片状, 0.5~2mm, 浸染状分布, 常以集合体形态出现(图 2m)。年代学采样点坐标为 $N41^{\circ}59'02.2''$ 、 $E93^{\circ}14'11.4''$ 。

(14) 多头山岩体

多头山位于彩霞山铅锌矿区北部约 10km 处, 出露面积约 10km²。岩体侵入于石炭系土古土布拉克组(C_{2t})地层, 近东西向展布。主体岩性为钾长花岗岩, 深红色, 花岗结构, 块状构造; 矿物主要有钾长石、斜长石、石英、黑云母等, 钾长石呈自形-半自形柱状, 粒径大小在 0.1~0.5mm 之间, 少数达 1mm 以上, 格子双晶发育, 斜长石粒度与钾长石相似, 双晶普遍, 石英呈他形粒状分布于长石之间, 粒径在 0.1mm 左右, 黑云母呈片状、长板状, 粒径可达 1mm 以上(图 2n)。年代学采样点坐标为 $N41^{\circ}43'47.7''$ 、 $E91^{\circ}22'33.7''$ 。

(15) 双岔沟岩体

双岔沟岩体位于黄山铜镍矿区东南约 12km, 出露面积约 200km²。岩体侵入于石炭系干墩组(C_{1g})和雅满苏组(C_{1y})地层。岩体受构造作用控制, 呈东西向展布, 片麻状构造发育。主体岩性为花岗闪长岩, 灰白色, 中粗粒花岗结构, 块状构造; 主要矿物有斜长石、石英、少量黑云母和角闪石等暗色矿物, 斜长石自形粒状, 粒径在 0.2~5mm, 见环带构造, 石英呈他形产出, 粒径一般小于 0.5mm, 黑云母呈片状星点状分布, 角闪石自形长柱状, 粒径在 0.5~1mm, 零星分布(图 2o)。年代学采样点坐标为 $N42^{\circ}07'49.8''$ 、 $E94^{\circ}52'36.8''$ 。

(16) 土墩岩体

土墩岩体位于雅满苏北部约 3km 处, 出露面积约

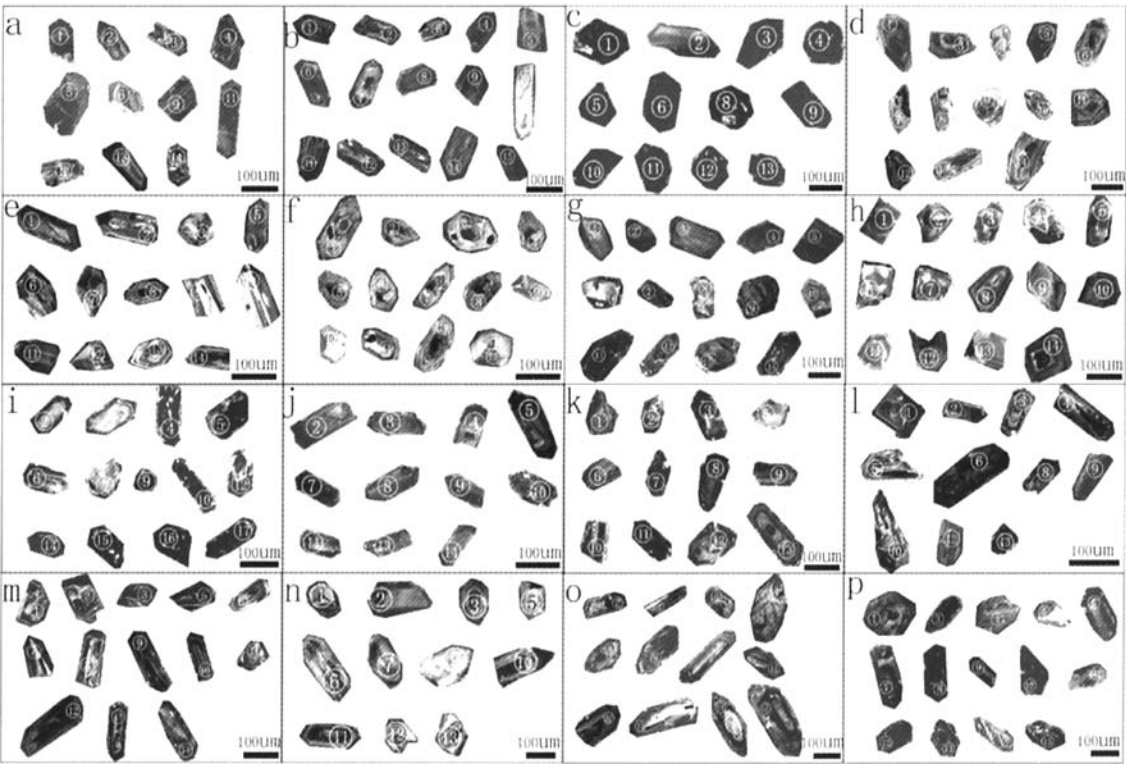


图3 锆石阴极发光(CL)照片
代表的岩体:a-镜儿泉岩体;b-西凤山岩体;c-石英滩岩体;d-长条山岩体;e-天目岩体;f-百灵山岩体;g-白石泉岩体;h-黄山岩体;i-迪坎岩体;
j-白山东岩体;k-管道岩体;l-红石岩体;m-陇东岩体;n-多头山岩体;o-双岔沟岩体;p-土墩岩体

Fig. 3 CL images of zircons

60km²。岩体侵入于下石炭统雅满苏组(C₁y)地层中。主体岩性为钾长花岗岩,红棕色,伟晶结构,块状构造,主要矿物由钾长石、斜长石、石英和暗色矿物组成,钾长石自形-半自形粒状,粒径可达20mm,为伟晶钾长石,斜长石呈半自形粒状,粒径在1~10mm之间,发育聚片双晶,石英呈他形粒状,暗色矿物主要为黑云母,浸染状产出(图2p)。年代学采样点坐标为N41°58′42.9″、E93°57′03.6″。

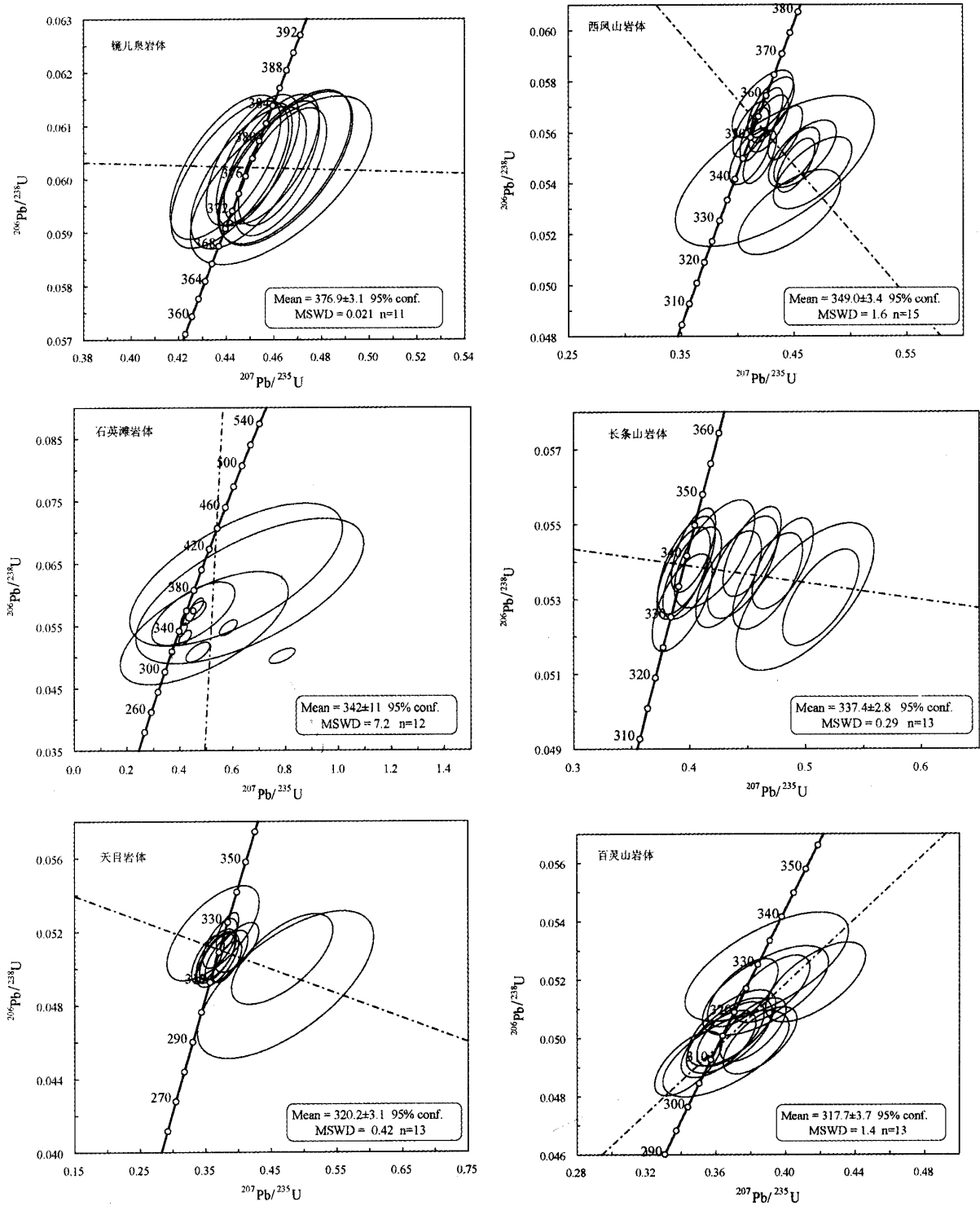
3 年代学测试结果

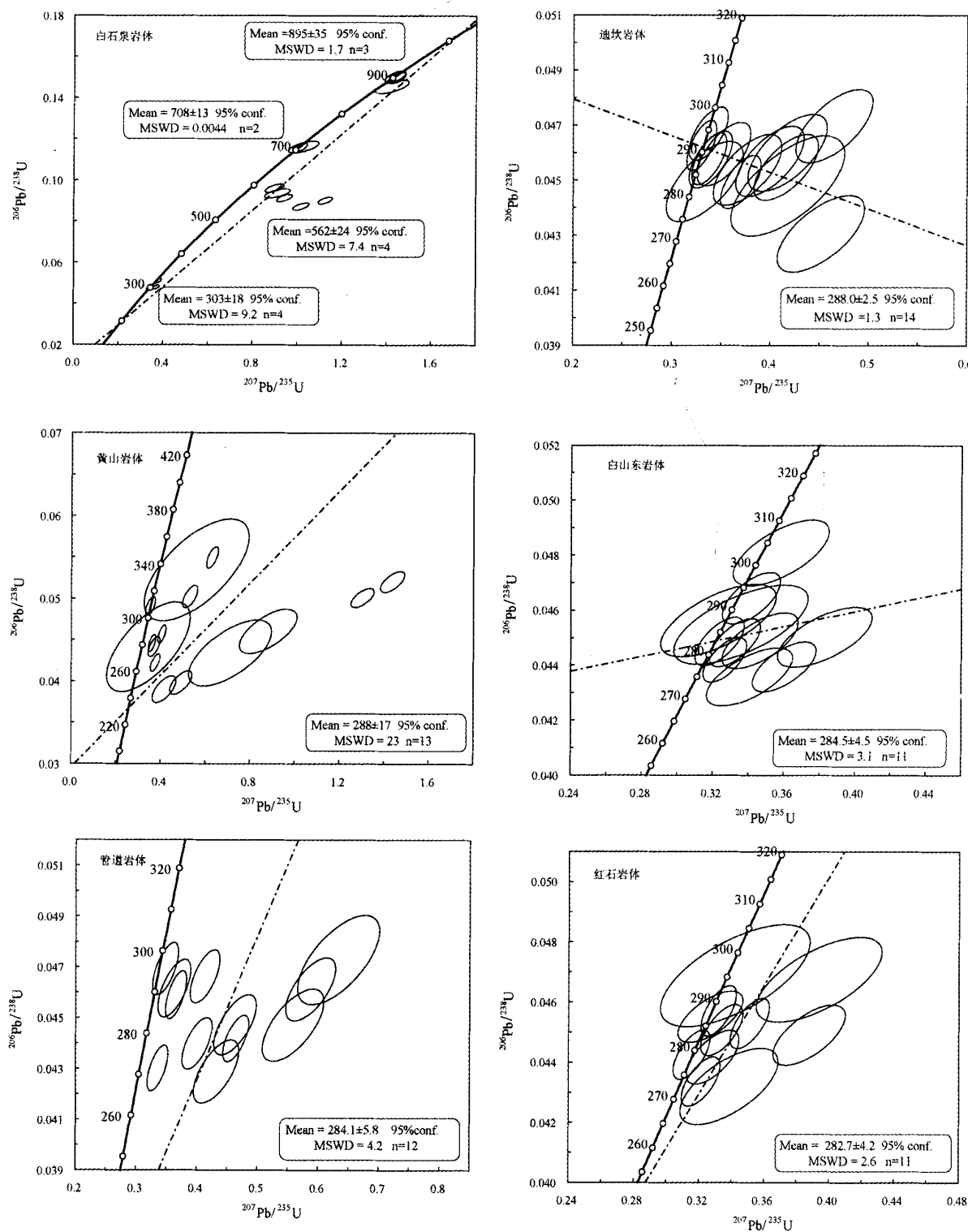
对上述16个岩体采集的年代学样品经重液分离和磁选后,在双目镜下分选出晶型完好、颗粒大于50um的锆石(>120颗),挑选代表性的锆石制作样品靶。对锆石进行透、反射电子像(BSE)及阴极发光(CL)分析,然后进行LA-ICPMS测年分析。锆石外形主要呈短柱状及粒状,无色、透明,内见细小的包裹体及裂纹,阴极发光图像(图3)显示,大部分锆石具有岩浆振荡环带结构(生长环带),应为岩浆成因,为原岩结晶锆石。

锆石 LA-ICPMS 测年分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行

点实验室进行,采用 Agilent 公司的 Agilent 7500a ICPMS 和 MicroLas 公司的 GeoLas200M(193 nm)激光器进行测定。激光剥蚀以氦气作为剥蚀物质的载气,斑束直径为44um,频率为10 Hz,激光能量为90mJ,每个分析点的气体背景采集时间为30s,信号采集时间为40s。LA-ICP-MS 激光剥蚀采样方式为单点剥蚀,数据分析前用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器的最佳化,使仪器达到最大的灵敏度、最小的氧化物产率(ThO₂ + /Th + <2%) 和最低的背景值。ICP-MS 数据采集选用一个质量峰采集一点的跳峰方式,每测定5个样品点,测定一个锆石91500 和一个 NIST610。数据处理采用 GLITTER(ver 4.0)程序,年龄计算以标准锆石91500 为外标进行同位素比值分馏校正;元素浓度计算采用 NIST610 作外标,Si 作内标。锆石谱和图用 Isoplot 程序(ver 3.0)获得。具体测试流程及数据采集分析参见第五春荣等(2008)、Yuan *et al.* (2008) 文章。样品分析过程中,91500 标样的分析结果分别与对应的年龄推荐值 1062.4 ± 0.6Ma(2σ),608.53 ± 0.37Ma(2σ) 在误差范围内完全一致。

16 个岩体的锆石 LA-ICPMS 定年分析的²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/





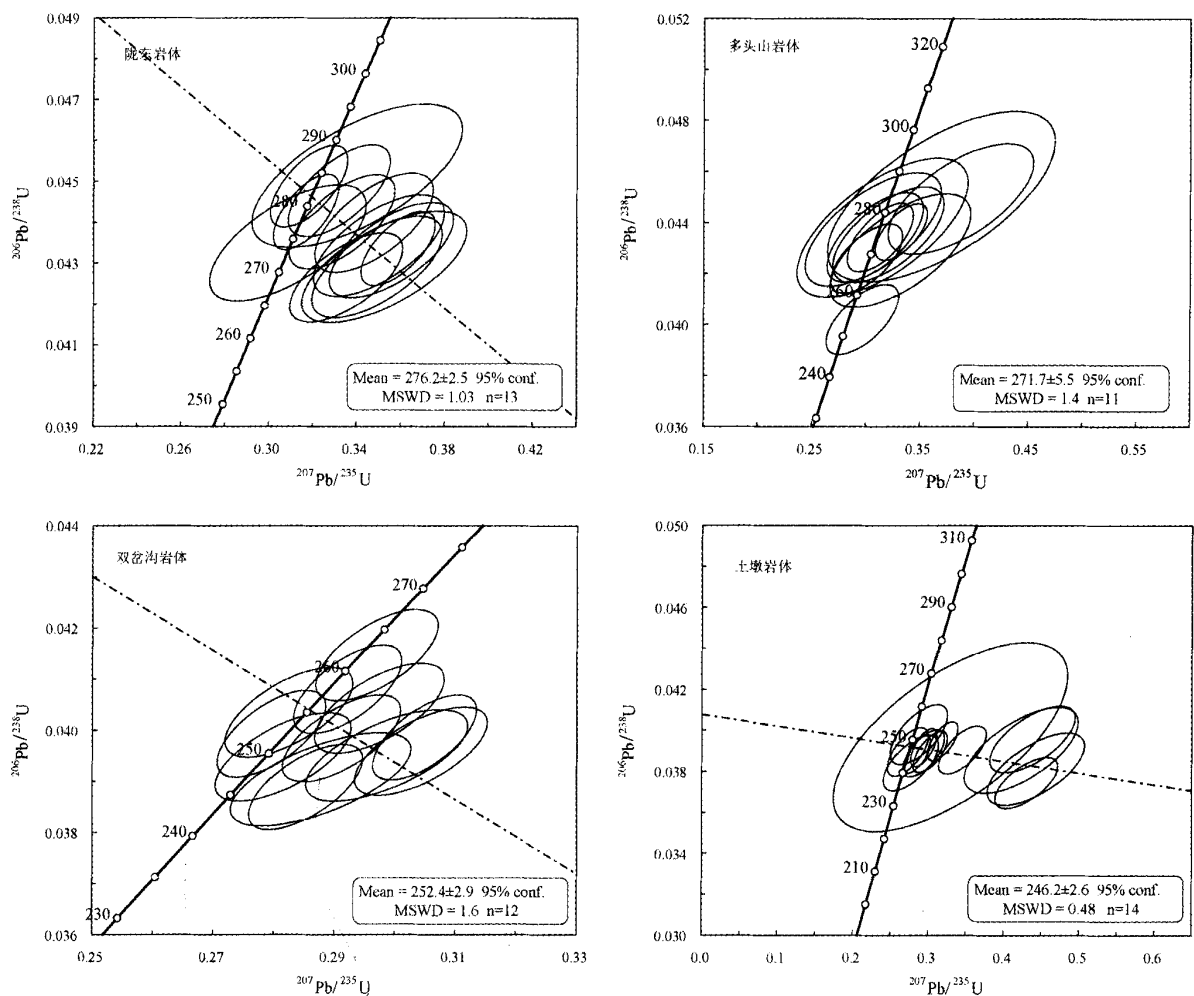


图4 锆石 U-Pb 年龄协和曲线图
Fig.4 U-Pb concordia diagram of zircons

^{238}U 谐和图如图4所示(锆石 U-Pb 同位素年龄数据见附表)。可见,各岩体的锆石均具有较低的U/Th 比值,范围在0.28~5.16之间、均值为1.75,指示了岩浆锆石的特征(Belousova *et al.*, 2002)。除白石泉岩体外,其它15个岩体的锆石所测得年龄值均在 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的谐和线上及附近,具有较好的一致性。获得各岩体的年龄值分别为:镜儿泉岩体 $376.9 \pm 3.1\text{Ma}$ (MSWD = 0.021, $n = 11$),另有两颗继承性锆石分别获得392Ma和415Ma的较老年龄值;西凤山岩体 $349.0 \pm 3.4\text{Ma}$ (MSWD = 1.6, $n = 15$),锆石协和性都很好,未发现老锆石;石英滩岩体 $342 \pm 11\text{Ma}$ (MSWD = 7.2, $n = 12$),另有1个年龄值为395Ma的继承性锆石;长条山岩体 $337.4 \pm 2.8\text{Ma}$ (MSWD = 0.29, $n = 13$),另有1颗继承性锆石为355Ma的较老年龄值;天目岩体 $320.2 \pm 3.1\text{Ma}$ (MSWD = 0.42, $n = 13$),另有1颗继承性锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄值达989Ma;百灵山岩体 $317.7 \pm 3.7\text{Ma}$ (MSWD = 1.4, $n = 13$),锆石年龄值协和性很好,未发现老锆石;迪坎岩体 $288.0 \pm$ 万方数据

2.5Ma (MSWD = 1.3, $n = 14$),锆石协和性较好;黄山岩体 $288 \pm 17\text{Ma}$ (MSWD = 23, $n = 13$),还存在年龄值为2463Ma、509Ma、414Ma及327Ma的4颗继承性锆石;白山东岩体 $284.5 \pm 4.5\text{Ma}$ (MSWD = 3.1, $n = 11$),另有1颗315Ma年龄值的老锆石;管道岩体 $284.1 \pm 5.8\text{Ma}$ (MSWD = 4.2, $n = 12$),有两颗继承性锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄为878Ma和569Ma;红石岩体 $282.7 \pm 4.2\text{Ma}$ (MSWD = 2.6, $n = 11$);皖东岩体 $276.2 \pm 2.5\text{Ma}$ (MSWD = 1.03, $n = 13$),另有1颗年龄值为1111Ma的老锆石;多头山岩体 $271.7 \pm 5.5\text{Ma}$ (MSWD = 1.4, $n = 11$);双岔沟岩体 $252.4 \pm 2.9\text{Ma}$ (MSWD = 1.6, $n = 12$);土墩岩体 $246.2 \pm 2.6\text{Ma}$ (MSWD = 0.48, $n = 14$),另有1颗继承性锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄为617Ma;白石泉岩体获得了多组年龄数据,分别为 $303 \pm 18\text{Ma}$ 、 $562 \pm 24\text{Ma}$ 、 $708 \pm 13\text{Ma}$ 、 $895 \pm 35\text{Ma}$,显示存在多种捕获或继承锆石,其中最年轻的一组年龄数据为 $303 \pm 18\text{Ma}$ (MSWD = 9.2, $n = 4$)。

表 1 研究区花岗岩类岩体定年数据表

Table 1 Dating results of granitoids in Jueluotag area

序号	名称	岩性	测年方法	年龄(Ma)	资料来源
1	镜儿泉	花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	376.9 ± 3.1	本文 Gu <i>et al.</i> , 1996 杨甲全和张拓夫, 1995① 车自成, 1989② 陈郑辉等, 2006
			Rb-Sr	260 ± 6.2	
			锆石 U-Pb	430.5 ± 14	
			Rb-Sr	260 ± 6	
			白云母 ³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	243 ± 2	
2	西凤山	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	349.0 ± 3.4	本文 徐湘康和桑少杰, 1994③
			Rb-Sr	254Ma	
3	石英滩	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	342 ± 11	本文 李华芹等, 1998 李华芹等, 1998
			英云闪长岩 Rb-Sr	293 ± 1	
			单颗粒锆石 U-Pb	287 ± 3	
4	长条山	石英闪长(玢)岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	337.4 ± 2.8	本文 王碧香等, 1989
			全岩 Rb-Sr 等时线	315.7	
5	天目	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	320.2 ± 3.1	本文
6	百灵山	花岗闪长岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	317.7 ± 3.7	本文 王龙生等, 2005 李文明等, 2002 李文明等, 2002 李华芹等, 2003
			流体包裹体 Rb-Sr	293 ± 10	
			单颗粒锆石 U-Pb	307.5 ± 7.8	
			单颗粒锆石 U-Pb	282 ± 9.8	
			Rb-Sr	286	
7	白石泉	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	303 ± 18	本文
8	迪坎	似斑状钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	288.0 ± 2.5	本文
9	黄山	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	288 ± 17	本文
10	白山东	花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	284.5 ± 4.5	本文
11	管道	花岗斑岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	284.1 ± 5.8	本文
12	红石	花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	282.7 ± 4.2	本文 陈文等, 2007
			⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	253.9 ~ 258.7	
13	陇东	二长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	276.2 ± 2.5	本文 李永军等, 2007
			单颗粒锆石稀释法	261Ma	
14	多头山	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	271.7 ± 5.5	本文
15	双岔沟	花岗闪长岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	252.4 ± 2.9	本文 廖静娟等, 1993
			Rb-Sr	232	
16	土墩	钾长花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	246.2 ± 2.6	本文
17	四顶黑山	黑云母花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb	386 ± 5	李亚萍等, 2006
18	咸水泉	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	369.5 ± 5.6	唐俊华等, 2007
19	土屋	花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	334 ± 3	陈富文等, 2005 刘德权等, 2003 李文明等, 2002 秦克章, 2000 秦克章, 2000
			锆石 SHRIMP U-Pb	333 ± 2	
			单颗粒锆石 U-Pb	301 ± 13	
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	310.95 ± 4.6	
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	347.3 ± 2.1	
20	延东	花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	333 ± 4	陈富文等, 2005 秦克章, 2000 秦克章, 2000
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	341.21 ± 4.9	
			单颗粒锆石 U-Pb	356 ± 8	
21	赤湖	斜长花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	322 ± 10	吴华等, 2006 李文明等, 2002 李文明等, 2002
			单颗粒锆石 U-Pb	283.5 ± 3.5	
			单颗粒锆石 U-Pb	292.1 ± 33.5	
22	红云滩	花岗闪长岩	LA-ICPMS	328.5 ± 9.3Ma	吴昌志等, 2006
23	维权	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	297 ± 3	王龙生等, 2005 毛景文等, 2002 李华芹等, 2003
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	276 ± 2.8	
			锆石 SHRIMP U-Pb	290 ~ 280	

① 杨甲全,张拓夫. 1995. 镜儿泉北矿、咸水泉幅 1:5 万区域地质调查报告
② 车自成. 1989. 新疆巴伦台多金属成矿带地物化综合研究及找矿靶区优选. 新疆人民政府国家 305 项目办公室, 52-61
③ 徐湘康,桑少杰. 1994. 秋格明塔什地区 3 幅 1:5 万区域地质调查报告

续表 1

Continued Table 1

序号	名称	岩性	测年方法	年龄 (Ma)	资料来源
24	三岔口	斜长花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb	278 ± 4	李华芹等,2004
25	彩霞山东	石英闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	267.8 ± 1.6	任燕等,2006
26	克孜尔塔格	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	271.6	李少贞等,2006
			U-Pb	359.8	李文明等,2002
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	276 ~ 254	王瑜等,2002
27	康古尔	花岗斑岩	Rb-Sr	282 ± 16	李华芹等,1998
			³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	261 ~ 252.5	陈文等,2007
28	白山	黑云母斜长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb	239 ± 8	李华芹等,2006
29	鄯善采石场	钾长花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb	230.0 ± 2.3	李文明等,2002
30	尾亚	辉长岩	锆石 SHRIMP U-Pb	236 ± 6	Zhang et al. , (2005)
		石英正长岩		246 ± 6	
		闪长玢岩		233 ± 8	
		细粒花岗岩		237 ± 8	

注:表 1 中岩体编号与图 1 中的编号相对应

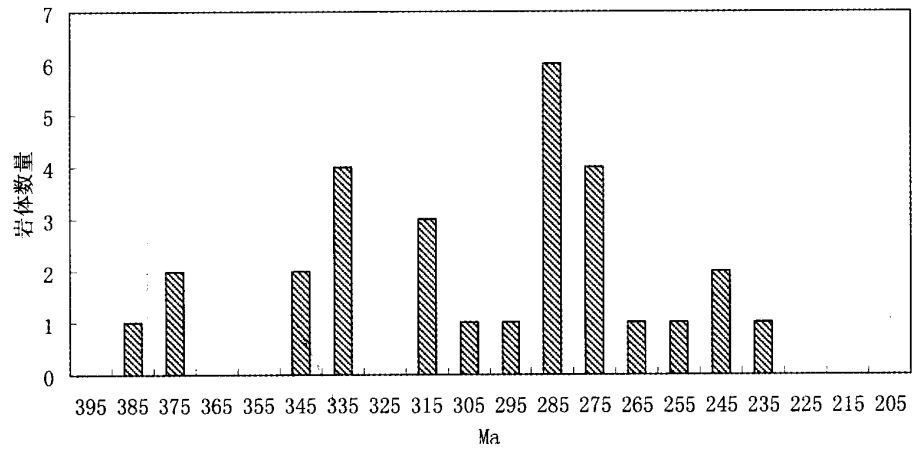


图 5 觉罗塔格地区花岗质岩体年代分布直方图
此图中的数据皆为各岩体的精确同位素测年数据,每个岩体只取一个年龄值
Fig. 5 Age histogram of the granitoids in Jueluotag area

4 讨论

4.1 花岗岩类的时空分布格架

在本文的岩体锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年结果基础上,结合前人研究成果,东天山觉罗塔格地区主要花岗质岩体的同位素年代学成果如表 1 所示,基于精确定年结果的花岗质岩体年代分布如图 5,显示觉罗塔格地区花岗质岩浆活动可分为四个阶段。
第一阶段:本阶段花岗质岩浆活动时间范围在 386.5 ~ 369.5Ma 之间(表 1,图 5),对应于晚泥盆世,代表性的岩体有镜儿泉、四顶黑山和咸水泉岩体,主要岩性为黑云母花岗岩和花岗闪长岩。主要分布在研究区北部的哈尔里克-大南

湖岛弧带内,集中在该带东部。
前人对镜儿泉岩体的 Rb-Sr 法、单颗粒锆石 U-Pb 法及 ³⁹Ar/⁴⁰Ar 法测年研究显示其年龄范围在 430.5 ~ 243Ma 之间(车自成等,1989;杨甲全等;1995;Gu et al. , 1996;陈郑辉等,2006),变化范围较大,因此岩体形成年龄仍不确定。本文获得镜儿泉岩体中 11 颗锆石 LA-ICPMS 精确年龄为 376.9 ± 3.1Ma,年龄数据协和曲线一致性好(图 4),可作为该岩体的成岩年龄。此外,唐俊华等(2007)和李亚萍等(2006)分别测得咸水泉岩体和四顶黑山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 386 ± 5 Ma 和 369.5 ± 5.6 Ma,指示在晚泥盆纪晚期哈尔里克-大南湖岛弧带东部存在较强烈的中酸性岩浆活动。
第二阶段:本阶段花岗质岩浆活动时间在 349 ~ 330Ma 之间(表 1,图 5),对应于早石炭世,代表性岩体有西凤山、石

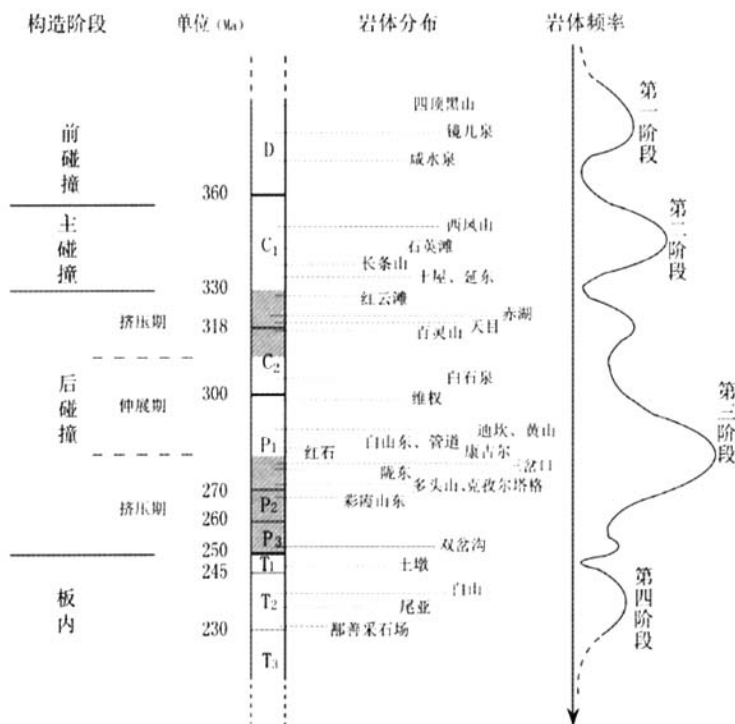


图6 觉罗塔格地区花岗岩类分布时序(底图据王京彬和徐新,2006 修改)
Fig. 6 Time sequence of granites in Jueluotag area (modified after Wang and Xu, 2006)

英滩、长条山、红云滩、土屋和延东等岩体,主要岩性组合为钾长花岗岩-花岗闪长岩-花岗斑岩。该阶段花岗岩类在研究区内分布较广泛,按构造位置可分为两组:第一组位于研究区西南的阿奇山-雅满苏岛弧带,包括西凤山、石英滩、长条山和红云滩等岩体,它们的出露面积均较大($>30\text{km}^2$),其中石英滩岩体部分出露在康古尔-黄山韧性剪切带中;第二组分布于土屋-延东一带,代表性岩体为土屋和延东岩体,岩体出露面积较小($<10\text{km}^2$),沿康古尔断裂分布。

李华芹等(1998)曾测得石英滩岩体的年龄在 $287\sim 293\text{Ma}$ 之间,王碧香等(1989)测得长条山岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 315.7Ma ,李文明等(2002)报道的长条山岩体单颗粒锆石 U-Pb 稀释法年龄为 $330\sim 351.6\text{Ma}$,这些数据以 Rb-Sr 法或单颗粒锆石 U-Pb 稀释法获得,且所得年龄值变化范围较大,不能较好约束岩体成岩年龄。本文获得西凤山岩体 16 颗锆石 LA-ICPMS 年龄为 $349\pm 3.4\text{Ma}$,协和曲线一致性好(图 4),可作为该岩体成岩年龄;获得石英滩岩体和长条山岩体的锆石 LA-ICPMS 年龄值分别为 $342\pm 11\text{Ma}$ 和 $337.4\pm 2.8\text{Ma}$,其锆石协和曲线较好的一致性表明年龄准确可信,均可作为岩体的成岩年龄。吴昌志等(2006)获得红云滩花岗闪长岩体锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 $328.5\pm 9.5\text{Ma}$,可作为该岩体成岩年龄;而对于土屋和延东花岗斑岩体的成岩时代,前人已经做了很多工作(秦克章,2000;李文明等,2002;刘德权等,2003;陈富文等,2005),其中土屋和延东两个岩体

的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 $334\pm 3\text{Ma}$ 和 $333\pm 4\text{Ma}$,数据的精确度高,可作为它们的成岩年龄。

第三阶段:本阶段花岗质岩浆活动时间在 $320\sim 252\text{Ma}$ 之间(表 1,图 5),对应于晚石炭世至晚二叠世,本阶段是研究区内岩浆活动最活跃、持续时间最长的阶段,可分为晚石炭世、晚石炭世末-晚二叠世两个峰期(图 6)。

第一峰期的花岗质岩浆活动在 $322\sim 315\text{Ma}$ 之间,对应于晚石炭世,代表性岩体有百灵山、赤湖和天目岩体(表 1),主要岩性组合为钾长花岗岩-花岗闪长岩-斜长花岗斑岩,分布于阿奇山-雅满苏岛弧带内。对于百灵山花岗闪长岩体,前人的 Rb-Sr 法和单颗粒锆石 U-Pb 法测年研究显示该岩体年龄在 $282\sim 307\text{Ma}$ 之间(李文明等,2002;李华芹等,2003;王龙生等,2005),测年数据相差较大,不能较好的指示岩体成岩年龄。本文获得百灵山岩体 13 颗锆石的 LA-ICPMS 年龄为 $317.7\pm 3.7\text{Ma}$,一致的协和曲线(图 4)说明年龄的可信度高,可作为岩体形成年龄。本次工作还获得了天目岩体的 13 颗锆石 LA-ICPMS 年龄为 $320.3\pm 3.1\text{Ma}$ (图 4),一致的协和曲线显示年龄值可代表该岩体的成岩年龄。此外,吴华等(2006)以锆石 SHRIMP U-Pb 法测得赤湖斜长花岗斑岩体的年龄为 $322\pm 10\text{Ma}$ 。

第二峰期的花岗质岩浆活动在 $303\sim 252\text{Ma}$ 之间,对应于晚石炭世末-晚二叠世,代表性岩体有白石泉、维权、迪坎、三岔口、黄山、白山东、管道、红石、康古尔、陇东、多头山、彩霞山东、双岔沟、土墩、尾盘、白山、都善采石场。

霞山东、克孜尔塔格和双岔沟等岩体,主要岩性组合为钾长花岗岩-二长花岗岩-花岗闪长岩-花岗斑岩,分布于阿奇山-雅满苏岛弧带内、哈尔里克-大南湖岛弧带内、康古尔-黄山韧性剪切带内部及其边缘。

在阿奇山-雅满苏岛弧带内,侵位较早的是白石泉和维权岩体。本文获得白石泉岩体中4颗最年轻的锆石 LA-ICPMS U-Pb 加权平均年龄为 $303 \pm 18\text{Ma}$ (图4),王龙生等(2005)获得维权岩体锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 $297 \pm 3\text{Ma}$,两岩体年龄值相近,对应于晚石炭世末,可能指示了本阶段第二峰期岩浆活动的初始时间。本文还获得了多头山钾长花岗斑岩体11颗锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 $271.7 \pm 5.5\text{Ma}$,一致的协和曲线表明该年龄值可作为岩体的成岩年龄,表明阿奇山-雅满苏岛弧带存在中二叠世的酸性岩浆活动。

在哈尔里克-大南湖岛弧带内,本文测得迪坎似斑状钾长花岗岩13颗锆石 LA-ICPMS 年龄为 $288.0 \pm 2.5\text{Ma}$,对应于早二叠世,一致的协和曲线(图4)说明了年龄精确可靠,可作为岩体成岩年龄;李华芹等(2004)获得三岔口岩体锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 $278 \pm 4\text{Ma}$ 。两岩体年龄数据基本一致,表明哈尔里克-大南湖岛弧带存在早二叠世中酸性岩浆活动。

在康古尔-黄山韧性剪切带内部,分布有黄山、白山东、管道、红石和康古尔等岩体。陈文等(2007)曾报道了红石岩体的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄值为 $253.9 \sim 258.7\text{Ma}$,但含 K 矿物易受后期热液改造,此年龄尚不能严格制约红石岩体的形成年龄;李华芹等(1998)报道过康古尔花岗斑岩体 Rb-Sr 法年龄为 $282 \pm 16\text{Ma}$ 。本文以锆石 LA-ICPMS 法测得黄山岩体、白山东岩体、管道岩体和红石岩体的年龄分别为 $288 \pm 17\text{Ma}$ 、 $284.5 \pm 4.5\text{Ma}$ 、 $284.1 \pm 5.8\text{Ma}$ 和 $282.7 \pm 4.2\text{Ma}$ (图4),协和曲线一致性较好,可分别作为这些岩体的成岩年龄。康古尔-黄山韧性剪切带内部的这些岩体显示出相似的成岩构造环境和形成年龄,应为同期岩浆活动的产物,可能受韧性剪切带活动控制(王瑜等,2002;陈文等,2007)。

分布在康古尔-黄山韧性剪切带边缘的岩体包括陇东、彩霞山东、克孜尔塔格和双岔沟等岩体,其中彩霞山东岩体和克孜尔塔格岩体位于剪切带北缘,受康古尔断裂控制,陇东岩体和双岔沟岩体位于剪切带南缘,受雅满苏大断裂控制。任燕等(2006)和李少贞等(2006)分别测得彩霞山东岩体和克孜尔塔格岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 267.8Ma 和 271.6Ma 。本文测得陇东岩体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 $276.2 \pm 2.5\text{Ma}$,年龄曲线协和性很好,可作为岩体的成岩年龄。而本文测得双岔沟岩体的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 $252 \pm 2.9\text{Ma}$,协和曲线一致性表明了该年龄值可作为岩体的成岩年龄,对应于二叠纪末,为本阶段岩浆活动末期的产物。

第四阶段:本阶段花岗质岩浆活动时间在 $246 \sim 230\text{Ma}$ 之间,对应于早中三叠世(表1,图5),代表性岩体有土墩、白山、鄯善采石场和尾亚等岩体,主要岩性为钾长花岗岩和

云母斜长花岗岩,分布于研究区南部的雅满苏岛弧带及康古尔-黄山韧性剪切带中。本文测得土墩岩体14颗锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 $246.2 \pm 2.6\text{Ma}$,年龄值协和曲线一致性很好,可作为该岩体的成岩年龄。对于白山岩体,李华芹等(2006)测得其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $239 \pm 8\text{Ma}$;李文明等(2002)测得鄯善采石场钾长花岗岩体年龄为 230Ma ; Zhang *et al.* (2005)对研究区东南部尾亚环状杂岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究表明其侵入年龄在 $246 \sim 233\text{Ma}$ 之间。这些岩体成岩年龄相近,指示了研究区内存在三叠纪的中酸性岩浆活动。

总之,本文研究的觉罗塔格地区主要的30个中酸性岩体年龄范围在 $386 \sim 230\text{Ma}$,可分为晚泥盆世($386.5 \sim 369.5\text{Ma}$)、早石炭世($349 \sim 330\text{Ma}$)、晚石炭世-晚二叠世($320 \sim 252\text{Ma}$)和早中三叠世($246 \sim 230\text{Ma}$)四个阶段,其中前三个阶段属于海西期,第四阶段属于印支期。在时间上,第一个阶段持续时间为 17Ma (岩体数=3),第二阶段持续时间 19Ma (岩体数=6),第三阶段持续时间为 68Ma (岩体数=17),第四阶段持续时间为 16Ma (岩体数=3);前三个阶段岩浆活动具有持续时间逐渐变长、岩浆活动也逐渐加剧的特点,到第三阶段达到顶峰,而第四阶段岩浆活动则明显变弱。在空间上,形成于晚泥盆世(第一阶段)的岩体主要分布于研究区北部的哈尔里克-大南湖岛弧带,研究区内其他地区未见;形成于石炭纪(第二阶段和第三阶段的第一峰期)的岩体主要分布于的阿奇山-雅满苏岛弧带和沿康古尔断裂一线,且主要位于研究区中西部,而在研究区东部未见形成于该时代的中酸性岩体;形成于晚石炭世末-晚二叠世(第三阶段第二峰期)的花岗岩类主要在康古尔-黄山韧性剪切带内部及边缘最为发育,与该韧性剪切带活动有关;形成于早中三叠世的花岗岩类(第四阶段)在康古尔-黄山韧性剪切带和阿奇山-雅满苏岛弧带中零星分布。觉罗塔格地区花岗岩类岩浆活动具有如下时空分布总体特征:南北方向上,自哈尔里克-大南湖岛弧带→阿奇山-雅满苏岛弧带→康古尔-黄山韧性剪切带,岩体侵位由早到晚;东西方向上,自研究区东部→中西部→沿韧性剪切带,岩体侵位由老到新;其中沿康古尔-黄山韧性剪切带分布的岩体还具有自西向东逐渐变新的特点。

4.2 花岗岩类与区域构造演化的耦合关系

新疆东天山觉罗塔格地区晚古生代的大地构造演化有裂谷(冯益民等,2002;秦克章等,2002;陈富文等,2003)、弧后盆地(Xu *et al.*, 2003)、被动陆缘(Li *et al.*, 2003)及岛弧(马瑞士等,1993;姬金生等,1994;周济元等,1994;Mao *et al.*, 2005)等不同认识。最新的研究显示,新疆北部在晚古生代经历了后碰撞构造演化阶段(王京彬和徐新,2006; Han *et al.*, 2006; 姜峰等,2007; Zhou *et al.*, 2008)。王京彬和徐新(2006)认为新疆北部后碰撞的主体时限为 $355 \sim 250\text{Ma}$; Han *et al.* (2006)认为新疆北部后碰撞构造阶段在东准噶尔地区的时限为 $330 \sim 265\text{Ma}$,在西准噶尔的时限为 $340 \sim 275\text{Ma}$;

Wang *et al.* (2009) 的研究显示,阿尔泰造山带中部地块主造山期或主碰撞期应该在 400 ~ 360Ma 左右,后造山期时限约 320 ~ 240Ma,非造山期(板内期)约为 230 ~ 140Ma。顾连兴等(2006)指出东天山地区的花岗岩在主碰撞期后可分为三种:挤压-拉张转换期花岗岩(310 ~ 285Ma)、拉张花岗岩(285 ~ 250Ma)、板内花岗岩(250 ~ 208Ma);娄峰等(2007)根据地层表现出普遍的区域性不整合认为新疆北部地区的后碰撞时限在 C_1 - P_2 之间;Zhou *et al.* (2006, 2008)、袁峰等(2006)、范裕等(2007)对西准噶尔萨吾尔地区花岗岩体研究认为该区经历了前碰撞(409 ~ 355Ma)、主碰撞(355 ~ 340Ma)和后碰撞(340 ~ 298Ma)的演化过程,其后持续了拉张环境;王京彬等(2006)认为,石炭纪东天山地区已进入后碰撞构造演化阶段,同时西天山地区在石炭纪末期-早二叠世也转向了后碰撞的伸展、拉张阶段,天山地区在石炭-二叠纪期间及其之后可能是一个统一的地质单元(赵振华等, 2003; 朱永峰, 2007; 袁峰等, 2007)。

在东天山觉罗塔格地区,晚古生代中酸性岩浆活动剧烈,岩浆活动与构造演化的耦合关系对于区域构造背景及其演化具有重要的指示意义。基于前人已取得的关于新疆北部及东天山地区构造演化的成果,结合本次工作获得的和已有的花岗岩类精确同位素定年数据,本文得到的觉罗塔格地区花岗岩类与区域构造演化的耦合关系如图 6 所示。可见,研究区中酸性岩浆活动的第一阶段(386.5 ~ 369.5Ma)所形成的花岗质岩体(四顶黑山、咸水泉、镜儿泉等),对应于区域构造演化中的板块碰撞前的岛弧阶段(Zhou *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009),即前碰撞阶段。第二阶段(349 ~ 330Ma)所形成的花岗质岩体(西凤山、石英滩、长条山、红云滩、土屋、延东等),对应于区域构造演化中的主碰撞构造演化阶段(王京彬和徐新, 2006; Zhou *et al.*, 2008)。第三阶段(320 ~ 252Ma)所形成的花岗质岩体(赤湖、天目、百灵山、白石泉、维权、迪坎、黄山、白山东、管道、红石、康古尔、三岔口、陇东、多头山、克孜尔塔格、彩霞山东、双岔沟等),发育最为广泛,对应于区域构造演化中的后碰撞构造演化阶段(王京彬和徐新, 2006; Zhou *et al.*, 2008),从岩性上看,也与后碰撞演化阶段普遍具有强烈高钾钙-碱性系列岩浆活动(Liegeois, 1998; Eklund *et al.*, 1998; 朱永峰, 2007)的认识是一致的。第四阶段(246 ~ 230Ma)所形成的花岗质岩体(土墩、白山、鄯善采石场、尾亚等),对应于区域构造演化中的板内演化阶段,岩浆活动向碱性-过碱性系列转变(Sylvester *et al.*, 1998; 刘新秒等, 2000; 顾连兴等, 2006)。因此,觉罗塔格地区花岗质岩浆活动与区域构造演化具有很强的耦合关系,花岗岩类在前碰撞阶段、主碰撞阶段、后碰撞阶段、板内阶段等 4 个构造演化阶段均有发育,与花岗岩类在时间分布上的 4 个阶段完全对应,其中尤以后碰撞构造演化阶段花岗岩类的分布最广泛、岩浆活动最强烈。

4.3 花岗岩类与成矿作用的关系

觉罗塔格地区是新疆北部重要的贵金属、有色金属矿产

分布区,成矿作用与岩浆活动密切相关(董连慧等, 2005; 王京彬等, 2006)。韩春明等(2002)研究认为,觉罗塔格地区自北向南存在北铜(Cu)→中金(Au)→南铁(Fe)的成矿规律; 吴昌志等(2006)认为觉罗塔格地区由南至北有晚古生代矿产分布由火山沉积-热液改造型铁矿向斑岩型铜钼矿过渡的特征; 秦克章等(2003)提出,东天山地区成矿时代主要集中在石炭纪、二叠纪。

在前人已有研究成果基础上,结合觉罗塔格地区花岗岩类的时空分布特征及花岗岩类的矿化信息可见,第一阶段所形成的岩体均发生了强烈的变形变质作用,但矿化作用不明显; 第二阶段、第三阶段第一峰期所形成的岩体中,主要发育有石英脉型和浅层低温热液型金矿床(西凤山、石英滩岩体)、火山岩型铁矿床(长条山、红云滩、百灵山岩体)、斑岩型铜矿床(延东、土屋、赤湖岩体),其中土屋、延东铜矿床已达到大型-超大型规模,赤湖、灵龙铜矿床也具有较大的潜力(陈富文等, 2005); 第三阶段第二峰期所形成的岩体中,以沿康古尔-黄山韧性剪切带广泛发育韧性剪切带型金矿床为特征,典型矿床包括康古尔、红石、马头滩、康西、金山和梧桐窝子南等金矿床(董连慧等, 2005; 陈文等, 2007),此外在维权岩体还发育有夕卡岩型银(铜)矿床(王龙生等, 2005); 第四阶段所形成的岩体中,相关的矿床较少,目前仅报道有与白山岩体有关的白山斑岩-石英脉型钼矿床(李华芹等, 2006),这一类型的矿床可能指示了板内阶段花岗岩浆的成矿作用。总体而言,觉罗塔格地区与 4 个阶段花岗岩类有关的成矿作用由早到晚具有无明显矿化→斑岩型铜矿、火山岩型铁矿→韧性剪切带型金矿、夕卡岩型银(铜)矿→斑岩-石英脉型钼矿的演化特点,其中以第二阶段和第三阶段第一峰期的斑岩型铜矿床、第三阶段第二峰期的韧性剪切带型金矿床最为发育,对比区域构造演化(图 6)则显示为,主碰撞阶段的斑岩型铜矿和后碰撞阶段的韧性剪切带型金矿为觉罗塔格地区最发育的与花岗岩类有关的矿床类型。

5 结论

(1) 测定了东天山觉罗塔格地区 16 个主要花岗岩类岩体的锆石 LA-ICPMS U-Pb 精确同位素年龄,具体为:镜儿泉岩体 376.9 ± 3.1 Ma、西凤山岩体 349.0 ± 3.4 Ma、石英滩岩体 342 ± 11 Ma、长条山岩体 337.4 ± 2.8 Ma、天目岩体 320.2 ± 3.1 Ma、百灵山岩体 317.7 ± 3.7 Ma、白石泉岩体 303 ± 18 Ma、迪坎岩体 288.0 ± 2.5 Ma、黄山岩体 288 ± 17 Ma、白山东岩体 284.5 ± 4.5 Ma、管道岩体 284.1 ± 5.8 Ma、红石岩体 282.7 ± 4.2 Ma、陇东岩体 276.2 ± 2.5 Ma、多头山岩体 271.7 ± 5.5 Ma、双岔沟岩体 252.4 ± 2.9 Ma、土墩岩体 246.2 ± 2.6 Ma。为研究区岩浆活动与区域构造演化及深部过程的关系研究提供了可靠的年代学支持。

(2) 觉罗塔格地区花岗岩类的形成年龄在 386 ~ 230Ma 的范围,岩浆活动可分为晚泥盆世(386.5 ~ 369.5Ma)、早石

炭世(349~330Ma)、晚石炭世-晚二叠世(320~252Ma)和早中三叠世(246~230Ma)四个阶段。前三个阶段岩浆活动具有持续时间逐渐变长、岩浆活动逐渐加剧、到第三阶段达到顶峰的特点,而第四阶段岩浆活动则明显变弱。

(3) 觉罗塔格地区花岗岩类岩浆活动的时空分布总体表现为:南北方向上,自哈尔里克-大南湖岛弧带→阿奇山-雅满岛弧带→康古尔-黄山韧性剪切带,岩体侵位由早到晚;东西方向上,自研究区东部→中西部→沿韧性剪切带,岩体侵位由老到新;其中沿康古尔-黄山韧性剪切带分布的岩体还具有自西向东逐渐变新的特点。

(4) 觉罗塔格地区花岗质岩浆活动与区域构造演化具有很强的耦合关系,花岗岩类在前碰撞阶段、主碰撞阶段、后碰撞阶段、板内阶段等4个构造演化阶段均有发育,与花岗岩类在时间分布上的4个阶段完全对应,其中尤以后碰撞构造演化阶段花岗岩类的分布最广泛、岩浆活动最强烈。

(5) 觉罗塔格地区与4个阶段花岗岩类有关的成矿作用由早到晚具有无明显矿化→斑岩型铜矿、火山岩型铁矿→韧性剪切带型金矿、夕卡岩型银(铜)矿→斑岩-石英脉型铅矿的演化特点,其中以第二阶段和第三阶段第一峰期的斑岩型铜矿床、第三阶段第二峰期的韧性剪切带型金矿床最为发育,这同时也指示,主碰撞阶段的斑岩型铜矿和后碰撞阶段的韧性剪切带型金矿为区内最发育的与花岗岩类有关的矿床类型。

致谢 本文的研究工作得到了新疆“305”项目办公室、新疆第一地质大队和新疆地质调查院的支持,得到王京彬研究员、高俊研究员、肖文交研究员、马映军研究员、王宝林研究员、王煜研究员、王玉往研究员等的指导和帮助,年代学测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室及袁洪林教授、柳小明教授、第五春荣博士等的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

References

- Belousova EA, Griffin WL and O'Reilly SY. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143: 602–622
- Chen FW, He GQ and Li HQ. 2003. Tectonic attribute of the Qoltag orogenic belt in the East Tianshan Mountains, northwestern China. *Geology in China*, 30(4): 361–366 (in Chinese with English abstract)
- Chen FW, Li HQ, Chen YC, Wang DH, Wang JL, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of mineralization in Tuwu-Yandong porphyry copper mine, East Tianshan Mountain. *Acta Geologica Sinica*, 02: 247–254 (in Chinese with English abstract)
- Chen W, Sun S, Zhang Y, Xiao WJ, Wang YT, Wang QL, Jiang LF and Yang JT. 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone in East Tianshan, Xinjiang, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 790–804 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZH, Wang DH, Gong YF, Chen YC and Chen SP. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating of muscovite from Jingerquan pegmatite rare metal deposit in Hami, Xinjiang, and its geological significance. *Mineral Deposits*, 25(4): 470–476 (in Chinese with English abstract)
- Dong LH, Zhao SM and Shu YX. 2006. Tectonic and metallogenic characteristics of the Carboniferous collisional orogenic period in Tianshan, Xinjiang. *Proceedings of 8th National Conference of Mineral Deposits, China*. Beijing: Geological Publishing House, 475–478 (in Chinese)
- Eklund O, Konopelko D, Rytanen H, fröjd S and Shebanov AD. 1998. 1.8 Ga Svecofennian post-collisional shoshonitic magmatism in the Fennoscandian shield. *Lithos*, 45: 87–108
- Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Cooke D, Meffre S, Yang WP and He LX. 2007. LA-ICPMS zircon age of Tasite pluton in Sawuer region of west Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica sinica*, 23(8): 1901–1908 (in Chinese with English abstract)
- Feng YM, Zhu BQ, Yang JL and Zhang KC. 2002. Tectonic and evolution of the eastern Tianshan Mountains: A brief introduction to “tectonic map of the eastern Tianshan Mountains of Xinjiang”. *Xinjiang Geology*, 20(4): 309–314 (in Chinese with English abstract)
- Gong XP, Yang XK, Chen Q and Li ZC. 2004. Structure deformation and metallogenic prognosis of gold ore zone in Jueluotage of eastern Tianshan. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 26(2): 6–10 (in Chinese with English abstract)
- Gu LX, Yang H, Yan ZF and Liao JJ. 1996. Geology and genesis of peraluminous granites in East Tianshan Upper Paleozoic island arc belt. *Chinese Journal of Geochemistry*, 15(1): 33–43
- Gu LX, Zhang ZZ, Wu CZ, Wang YX, Tang JH, Wang CS, Xi AH and Zheng YC. 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1103–1120 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Zhang L. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1077–1086 (in Chinese with English abstract)
- Han CM, Mao JW, Yang JM, Wang ZL and Cui B. 2002. Types of Late Paleozoic endogenous metal deposits and related geodynamical evolution in the East Tianshan. *Acta Geologica Sinica*, 2: 222–234 (in Chinese with English abstract)
- Ji JS, Tao HX, Zeng ZR, Yang XK and Zhang LC. 1994. Geology and Mineralization of the Kangqertage Gold Metallogenic Belt in Eastern Tianshan. Beijing: Geological Publishing House, 1–280 (in Chinese)
- Li HQ, Xie CF and Chang HL. 1998. Study on Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in Northern Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House, 1–267 (in Chinese)
- Li HQ, Chen FW, Lu YF, Yang HM, Guo J and Mei YP. 2004. Zircon SHRIMP U-Pb age and strontium isotopes of mineralized granitoids in the Sanchakou copper polymetallic deposit, East Tianshan Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 191–195 (in Chinese with English abstract)
- Li HQ, Chen FW, Li JY, Qu WJ, Wang DH, Wu Hua, Deng G and Mei YP. 2006. Age of mineralization and host rocks in the Baishan rhenium-molybdenum district, East Tianshan, Xinjiang, China: Revisited. *Geological Bulletin of China*, 8: 916–922 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Xiao WJ, Wang KZ, Sun GH and Gao LM. 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan proceedings volume of the international symposium of the ICGP-473 project in Urumqi and Guidebook of the field excursion in Xinjiang, China: August 9-21, 2003. IAGOD Guidebook Series 10; CERCAMS / NHM London, 31–74
- Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China. *Geological Review*, 50(3): 304–322 (in Chinese with English abstract)
- Li SZ, Ren Y, Feng XC and Li SL. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite in the Kizil Tag composite intrusion, south margin of the Tulufan-Hami basin, East Tianshan, Xinjiang, China: With a

- discussion of the age of emplacement of the intrusion. Geological Bulletin of China, 25: 937–940 (in Chinese with English abstract)
- Li WM, Ren BC, Yang XK, Li YZ and Chen Q. 2002. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in eastern Tianshan region. Northwestern Geology, 04: 41–64 (in Chinese with English abstract)
- Li YA, Sun DJ and Zheng J. 1999. Paleomagnetic study and tectonic evolution of Xinjiang and its neighboring regions. Xinjiang Geology, 9: 193–235 (in Chinese with English abstract)
- Li YJ, Tong LL, Du ZG, Yang JQ, Si GH and Li XG. 2007. Geochemical characteristics and tectonic significance of Longdong granitoid rock in Kumutage Sand-Ridge area, eastern Tianshan. Geological Science and Technology Information, 06: 25–30 (in Chinese with English abstract)
- Li YP, Sun GH, Li JY, Wang YB, Xu X, He GQ and Jia JD. 2006. Devonian granite on the eastern margin of the Tuha basin in the East Tianshan, Xinjiang, China and its tectonic implication. Geological Bulletin of China, 25: 932–936 (in Chinese with English abstract)
- Liao JJ, Gu LX and Yan ZF. 1993. Geological features and genesis of the Shuangchagou granite body in East Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 9 (Suppl.): 114–121 (in Chinese with English abstract)
- Liegeois LP. 1998. Preface-some words on the post-collisional magmatism. Lithos, 45: 15–17
- Liu DQ, Chen YC, Wang DH, Tang YL, Zhou RH, Wang JL, Li HQ and Chen FW. 2003. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo orefield in Hami, Xinjiang. Mineral Deposits, 22 (04): 334–344 (in Chinese with English abstract)
- Ma RS, Wang CY and Ye SF. 1993. Tectonic Framework and Crust Evolution of Eastern Tianshan. Nanjing: Nanjing University Press, 1–225 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Yang JM, Han CM and Wang ZL. 2002. Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in eastern Tianshan, Xinjiang. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 27 (4): 413–424 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Richard J, Goldfarb, Wang YT, Hart CJ, Wang ZL and Yang JM. 2005. Late Paleozoic base and precious metal deposits, East Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting. Episodes, 28 (1): 1–14
- Mao JW, Xie GQ, Li XF, Zhang ZH, Wang YT, Wang ZL, Zhao CS, Yang FQ and Li HM. 2005. Geodynamic process and metallogeny: History and present research trend, with a special discussion on continental accretion and related metallogeny throughout geological history in South China. Mineral Deposits, 24 (3): 193–205 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ. 2000. Metallogenesis in relation to Central-Asia Sytle orogeny of northern Xinjiang. Post-Doctor Research Report. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 71–157 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Fang TH, Wang SL, Zhu BQ, Feng YM, Yu HF and Xiu QY. 2002. Plate tectonic division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW-China. Xinjiang Geology, 20 (4): 302–308 (in Chinese with English abstract)
- Ren JS, Jiang CF, Zhang ZK and Qin DY. 1980. The Geotectonic Evolution of China. Beijing: Science Press, 1–124 (in Chinese)
- Ren Y, Guo H, Tu QJ, Feng XC, Li SZ and Li SL. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the east Caixiashan quartz diorite stock, south margin of the Tulufan-Hami basin, East Tianshan, Xinjiang, China. Geological Bulletin of China, 25: 941–944 (in Chinese with English abstract)
- Sylvester PJ. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos, 45: 29–44
- Tang JH, Gu LX, Zhang ZZ, Wu CZ, San JZ, Wang CS, Liu SH and Zhang GH. 2007. Characteristics age and origin of the Xianshuiquan gneissose granite in eastern Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 23 (8): 1803–1820 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 80 (1): 23–31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB, Wang YW and He ZJ. 2006. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China. Geology in China, 33 (3): 461–469 (in Chinese with English abstract)
- Wang LS, Li HQ, Liu DQ and Chen YC. 2005. Geological characteristics and mineralization epoch of Wei-quan silver (copper) deposit, Hami, Xinjiang, China. Mineral Deposits, 22 (3): 280–284 (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Jahn BM, Victor P. Kovach, Tong Y, Hong DW and Han BF. 2009. Nd-Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt. Lithos, 110: 359–372
- Wang Y, Li JY and Li WQ. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar chronological evidence of dextral shear and tectonic evolution of the eastern Tianshan orogenic belt. Xinjiang Geology, 20 (4): 315–319 (in Chinese with English abstract)
- Wu CZ, Zhang ZZ, Zaw K, Della-Pasque F, Tang JH, Zheng YC, Wang CS and San JZ. 2006. Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the Hongyuntan granitoids in the Qoltag area, eastern Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 22 (5): 1121–1134 (in Chinese with English abstract)
- Wu H, Li HQ, Chen FW, Lu YF, Deng G, Mei YP and Ji HG. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of plagiogranite porphyry in the Chihu molybdenum-copper district, Hami, East Tianshan. Geological Bulletin of China, 25: 549–552 (in Chinese with English abstract)
- Xu XW, Ma TL, Sun LQ and Cai XP. 2003. Characteristics and dynamic origin of the large-scale Jiaolugate ductile compressional zone in the eastern Tianshan Mountains, China. Journal of Structural Geology, 25: 1901–1915
- Yang M, Peng SL, Yang B and Liu LM. 2005. Crustbody's movement and evolution in northern Xinjiang. Geotectonica Et Metallogenia, 29: 113–121 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Tan LG, Fan Y, Yang W, He LX and Yue SC. 2006. Isotopic ages of the I-type granites in west Junggar Sawuer region. Acta Petrologica Sinica, 22 (5): 1238–1248 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Fan Y, Tan LG, David C, Sebastien M, Wang QM and Wang WJ. 2007. LA-ICPMS U-Pb age of zircon from basalt of Matoutan Group in Shilipo native copper mineralized area, eastern Tianshan, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 23: 1973–1980 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Gao S and Liu XM. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determination of zircon by laser ablation-inductively coupled Plasma-mass spectrometry. Geostandards and Geo-analytical Research, 28 (3): 353–370
- Yuan HL, Gao S, Dai MN and Liu XM. 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser ablation quadrupole and multiple collector ICP-MS. Chem. Geol., 247: 100–117
- Zhang ZZ, Gu LX, Wu CZ, Li WQ, Xi AH and Wang S. 2005. Zircon SHRIMP dating for the Weiya pluton, eastern Tianshan: Its geological implications. Acta Geologica Sinica, 79 (4): 481–490
- Zhao ZH, Bai ZH, Xiong XL, Mei HJ and Wang YX. 2003. ^{40}Ar / ^{39}Ar chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang. Geochimica, 32 (4): 317–327 (in Chinese with English abstract)
- Zhou JY, Mao YS and Huang ZX. 1994. Volcano Geology of the Ancient Continental Margin in Eastern Tianshan. Chengdu: Press of Chengdu Science and Technology University, 1–280 (in Chinese)
- Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Fan Y, Yang WP, He LX and Yue SC. 2006. Time limit, geochemical characteristics and tectonic setting of Late Paleozoic magmatism in Sawuer region, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 22 (5): 1225–1237 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Zhang DY, David Cooke and Zhao GC. 2008. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance. Lithos, 106: 191–206
- Zhu YF. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, China. Geological Bulletin of China, 26 (5): 510–519 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈富文,何国琦,李华芹. 2003. 论天山觉罗塔格造山带的大地构造属性. 中国地质, 30(4): 361-366
- 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, (2): 247-254
- 陈文,孙枢,张彦,肖文交,王义天,王清利,姜立丰,杨俊涛. 2005. 新疆东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究. 地质学报, 79(6): 790-804
- 陈郑辉,王登红,龚羽飞,陈毓川,陈世平. 2006. 新疆哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. 矿床地质, 25(4): 470-476
- 第五春荣,孙勇,袁洪林,王洪亮,钟兴平,柳小明. 2008. 河南登封地区嵩山石英岩碎屑锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成及其地质意义. 科学通报, 53(16): 1923-1934
- 董连慧,赵树铭,栗永新. 2006. 新疆天山地区石炭纪碰撞造山期地质构造特征与成矿特点. 第八届全国矿床会议论文集, 北京: 地质出版社, 475-478
- 范裕,周涛发,袁峰,谭绿贵 David COOKE, Sebastien MEFFRE, 杨文平,何立新. 2007. 新疆西准噶尔地区塔斯提岩体锆石 LA-ICPMS 年龄及其意义. 岩石学报, 23(8): 1901-1908
- 冯益民,朱宝清,杨军录,张开春. 2002. 东天山大地构造及演化. 新疆地质, 20(4): 309-314
- 弓小平,杨兴科,陈强,李佐臣. 2004. 东天山觉罗塔格金矿带构造变形与成矿预测. 地球科学与环境学报, 26(2): 6-10
- 顾连兴,张遵忠,吴昌志,王银喜,唐俊华,汪传胜,鄯爱华,郑远川. 2006. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识. 岩石学报, (5): 1103-1122
- 姬金生,陶洪祥,曾章仁,杨兴科,张连昌. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿. 北京: 地质出版社, 1-204
- 李华芹,谢才富,常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 1-264
- 李华芹,陈富文,路远发,杨红梅,郭敬,梅玉萍. 2004. 东天山三岔口铜矿区矿化岩体 SHRIMP-Pb 年代学及锆同位素地球化学特征研究. 地球学报, 25(2): 191-195
- 李华芹,陈富文,李锦铁,屈文俊,王登红,吴华,邓刚,梅玉萍. 2006. 再论东天山白山铍铝矿区成岩成矿时代. 地质通报, 8: 916-922
- 李锦铁. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评, 50(3): 304-322
- 李少贞,任燕,冯新昌,李嵩龄. 2006. 吐哈盆地南缘克孜尔塔格复式岩体中花岗闪长岩锆石 SHRIMP-Pb 测年及岩体侵位时代讨论. 地质通报, 25: 937-940
- 李文明,任秉琛,杨兴科,李有柱,陈强. 2002. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义. 西北地质, (4): 41-64
- 李永安,孙东江,郑洁. 1999. 新疆及周边古地磁研究与构造演化. 新疆地质, 9: 193-235
- 李永军,佟丽莉,杜志刚,杨俊泉,司国辉,李新光. 2007. 东天山库姆塔格杂岩体岩石地球化学特征及构造意义. 地质科技情报, 6: 25-30
- 李亚萍,孙桂华,李锦铁,王彦斌,徐新,何国琦,贾金典. 2006. 吐哈盆地东缘泥盆纪花岗岩的确定及其地质意义. 地质通报, 25: 932-936
- 廖静娟,顾连兴,严正富. 1993. 东天山双岔沟花岗岩岩体特征及成因. 岩石学报, 9(增刊): 114-121
- 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
- 刘新秒. 2000. 后碰撞岩浆岩的大地构造环境及特征. 前寒武纪研究进展, 23(2): 121-127
- 娄峰,喻亨祥. 2007. 新疆北部后碰撞构造环境特征初析. 中国科技信息, 22: 19-20
- 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
- 毛景文,杨建民,韩春明,王志良. 2002. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学-中国地质大学学报, 27(4): 413-424
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,张作衡,王义天,王志良,赵财胜,杨富全,李厚民. 2005. 大陆动力学演化与成矿研究: 历史与现状-兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用. 矿床地质, 24(3): 193-205
- 秦克章. 2000. 新疆中亚型造山带与成矿作用. 博士后出站报告. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 71-157
- 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、演化与成矿地质背景研究. 新疆地质, 20(4): 302-308
- 任纪舜,姜春发,张正坤,秦德余. 1980. 中国大地构造及其演化. 北京: 地质出版社, 1-124
- 任燕,郭宏,涂其军,冯新昌,李少贞,李嵩龄. 2006. 吐哈盆地南缘彩霞山东石英闪长岩岩体锆石 SHRIMP-Pb 测年. 地质通报, 25: 941-944
- 唐俊华,顾连兴,张遵忠,吴昌志,三金柱,汪传胜,刘四海,张光辉. 2007. 东天山咸水泉片麻状花岗岩特征、年龄及成因. 岩石学报, 23(8): 1803-1820
- 王碧香,李兆鼎. 1989. 新疆北天山东段花岗岩类地球化学特征. 地质学报, (3): 236-245
- 王京彬,徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80(1): 23-31
- 王京彬,王玉往,何志军. 2006. 东天山大地构造演化的成矿示踪. 中国地质, 33(3): 461-469
- 王龙生,李华芹,刘德权,陈毓川. 2005. 新疆哈密密权银(铜)矿床地质特征和成矿时代. 矿床地质, 22(3): 280-284
- 王瑜,李锦铁,李文铅. 2002. 东天山造山带右行剪切变形及构造演化的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学证据. 新疆地质, 20(4): 315-319
- 吴昌志,张遵忠, Khin Z, Fernando DP, 唐俊华,郑远川,汪传胜,三金柱. 2006. 东天山觉罗塔格红云滩花岗岩岩体年代学、地球化学及其构造意义. 岩石学报, 22(5): 1121-1134
- 吴华,李华芹,陈富文,路远发,邓刚,梅玉萍,姬后贵. 2006. 东天山哈密地区赤湖铝铜矿区斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP-Pb 年龄. 地质通报, 25: 549-552
- 杨牧,彭省临,杨斌,刘亮明. 2005. 新疆北部壳体大地构造演化与运动初步研究. 大地构造与成矿学, 29: 113-121
- 袁峰,周涛发,谭绿贵,范裕,杨文平,何立新,岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义. 岩石学报, 22(5): 1238-1248
- 袁峰,周涛发,范裕,谭绿贵, David C, Sebastien M, 王庆民,王卫江. 2007. 新疆东天山十里坡自然铜矿化区马头滩组玄武岩锆石 LA-ICPMSU-Pb 年龄及其意义. 岩石学报, 23(8): 1973-1980
- 赵振华,白正华,熊小林,梅厚钧,王一先. 2003. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年. 地球化学, 32(4): 317-327
- 周济元,茅燕石,黄志勋. 1994. 东天山古大陆边缘火山地质. 成都: 成都科技大学出版社: 1-280
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿. 地质通报, 26(5): 510-519

附表 东天山地区 16 个中酸性岩体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄同位素数据
Attached List LA-ICPMS Zircon U-Pb ages of Plutons in eastern Tianshan area

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
镜 儿 泉	JEQ-01	65	522	874	0.52	0.0560	0.0031	0.4630	0.0252	0.0600	0.0010	451	119	386	17	376	6
	JEQ-02	110	2060	1666	0.81	0.0544	0.0013	0.4518	0.0105	0.0603	0.0008	386	51	379	7	377	5
	JEQ-03	24	296	315	0.93	0.0558	0.0016	0.4629	0.0127	0.0601	0.0008	445	60	386	9	377	5
	JEQ-04	128	1521	1631	1.00	0.0551	0.0016	0.4590	0.0132	0.0604	0.0008	417	63	384	9	378	5
	JEQ-05	14	22	67	1.01	0.0556	0.0014	0.4622	0.0113	0.0603	0.0008	435	53	386	8	378	5
	JEQ-06	63	625	758	1.07	0.0542	0.0016	0.4512	0.0129	0.0604	0.0008	379	64	378	9	378	5
	JEQ-07	166	1051	2036	1.94	0.0545	0.0016	0.4712	0.0140	0.0627	0.0008	394	65	392	10	392	5
	JEQ-08	52	563	774	1.37	0.0543	0.0020	0.4975	0.0176	0.0665	0.0010	383	78	410	12	415	6
	JEQ-09	102	3890	2010	1.07	0.0543	0.0020	0.4494	0.0160	0.0600	0.0009	383	79	377	11	376	5
	JEQ-11	95	1303	1301	1.21	0.0529	0.0019	0.4396	0.0153	0.0602	0.0009	326	79	370	11	377	5
	JEQ-12	34	280	442	1.58	0.0533	0.0020	0.4415	0.0163	0.0601	0.0009	341	83	371	12	376	6
	JEQ-13	57	807	750	1.67	0.0559	0.0023	0.4645	0.0184	0.0602	0.0010	449	87	387	13	377	6
	JEQ-14	408	451	457	3.02	0.0560	0.0023	0.4651	0.0185	0.0602	0.0010	453	87	388	13	377	6
	西 凤 山	XFS-01	12	130	173	0.47	0.0553	0.0013	0.4198	0.0098	0.0550	0.0007	425	51	356	7	345
XFS-02		15	131	226	0.96	0.0599	0.0015	0.4516	0.0111	0.0547	0.0007	599	52	378	8	343	4
XFS-03		19	177	271	1.15	0.0622	0.0031	0.4665	0.0230	0.0544	0.0009	681	104	389	16	342	6
XFS-04		21	193	313	1.18	0.0545	0.0012	0.4260	0.0095	0.0567	0.0007	392	49	360	7	355	4
XFS-05		23	227	377	1.32	0.0550	0.0015	0.4276	0.0116	0.0563	0.0007	414	59	362	8	353	4
XFS-06		33	286	483	1.35	0.0538	0.0011	0.4151	0.0085	0.0559	0.0007	364	45	353	6	351	4
XFS-07		35	337	533	1.38	0.0577	0.0080	0.4331	0.0583	0.0545	0.0020	516	278	365	41	342	12
XFS-08		39	346	564	1.53	0.0573	0.0013	0.4423	0.0102	0.0560	0.0007	503	50	372	7	351	4
XFS-09		44	400	638	1.59	0.0547	0.0018	0.4297	0.0137	0.0570	0.0008	400	69	363	10	357	5
XFS-10		45	402	650	1.74	0.0537	0.0023	0.4225	0.0180	0.0571	0.0009	356	95	358	13	358	5
XFS-11		47	418	706	1.91	0.0541	0.0016	0.4109	0.0119	0.0551	0.0007	376	64	350	9	346	4
XFS-12		50	453	732	1.95	0.0602	0.0027	0.4575	0.0199	0.0552	0.0009	609	93	383	14	346	5
XFS-13		53	504	768	2.17	0.0612	0.0042	0.4459	0.0300	0.0529	0.0011	645	142	374	21	332	7
XFS-14		63	567	954	2.47	0.0533	0.0014	0.4123	0.0109	0.0561	0.0007	340	60	351	8	352	4
XFS-15		65	2026	1031	2.98	0.0596	0.0018	0.4524	0.0134	0.0551	0.0007	588	64	379	9	346	5

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
石 英 滩	SYT-01	36	351	564	1.02	0.0547	0.0016	0.4101	0.0121	0.0544	0.0007	398	65	349	9	341	4
	SYT-02	49	793	1209	1.05	0.0583	0.0033	0.4612	0.0254	0.0574	0.0010	538	120	385	18	360	6
	SYT-03	74	889	1595	1.07	0.0573	0.0022	0.4199	0.0160	0.0532	0.0008	502	84	356	11	334	5
	SYT-04	278	3911	5053	1.13	0.0580	0.0021	0.4661	0.0161	0.0582	0.0008	530	76	389	11	365	5
	SYT-05	304	4699	5600	1.20	0.0575	0.0136	0.4517	0.1041	0.0570	0.0034	509	450	379	73	357	20
	SYT-06	316	4976	5664	1.21	0.0774	0.0030	0.5838	0.0223	0.0547	0.0008	1130	76	467	14	344	5
	SYT-08	358	6699	6860	1.22	0.0796	0.0353	0.6649	0.2849	0.0606	0.0077	1186	692	518	174	379	47
	SYT-09	602	7716	8293	1.29	0.1138	0.0048	0.7874	0.0326	0.0502	0.0008	1861	75	590	19	316	5
	SYT-10	885	7986	9743	1.36	0.0555	0.0024	0.4326	0.0186	0.0566	0.0009	431	95	365	13	355	6
	SYT-11	968	8136	12111	1.52	0.0654	0.0287	0.4927	0.2101	0.0547	0.0060	786	722	407	143	343	37
	SYT-12	991	12757	13375	1.60	0.0703	0.0315	0.6132	0.2660	0.0632	0.0075	938	719	486	167	395	46
	SYT-13	1213	13275	16234	2.01	0.0669	0.0044	0.4687	0.0301	0.0508	0.0011	834	131	390	21	320	7
长 条 山	CTS-01	8	23	68	1.36	0.0607	0.0023	0.4541	0.0166	0.0543	0.0008	628	78	380	12	341	5
	CTS-02	11	94	161	1.21	0.0848	0.0032	0.6611	0.0242	0.0566	0.0009	1311	71	515	15	355	5
	CTS-03	10	23	69	1.43	0.0702	0.0030	0.5132	0.0217	0.0530	0.0009	934	87	421	15	333	5
	CTS-04	12	23	70	1.50	0.0544	0.0023	0.4024	0.0167	0.0537	0.0008	386	92	343	12	337	5
	CTS-05	13	77	161	1.58	0.0539	0.0017	0.4036	0.0126	0.0543	0.0007	367	70	344	9	341	5
	CTS-06	13	86	104	1.66	0.0564	0.0032	0.4217	0.0229	0.0542	0.0010	468	120	357	16	340	6
	CTS-07	14	96	189	1.70	0.0634	0.0028	0.4675	0.0199	0.0535	0.0009	722	90	390	14	336	5
	CTS-08	14	111	185	1.73	0.0646	0.0024	0.4805	0.0175	0.0540	0.0008	761	77	398	12	339	5
	CTS-09	15	130	230	1.76	0.0533	0.0021	0.3949	0.0152	0.0537	0.0008	343	87	338	11	337	5
	CTS-10	17	146	260	1.78	0.0588	0.0026	0.4338	0.0187	0.0535	0.0009	558	95	366	13	336	5
	CTS-11	18	159	180	1.97	0.0539	0.0025	0.3937	0.0171	0.0529	0.0009	367	99	337	12	332	5
	CTS-12	18	178	254	1.97	0.0534	0.0023	0.3974	0.0165	0.0539	0.0009	346	95	340	12	339	5
	CTS-13	20	184	291	2.10	0.0600	0.0028	0.4460	0.0200	0.0539	0.0009	603	99	375	14	338	6
	CTS-14	20	207	281	2.96	0.0682	0.0056	0.4997	0.0393	0.0531	0.0013	874	161	412	27	333	8

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
天 目	TM-01	2	42	44	0.62	0.0524	0.0016	0.3835	0.0113	0.0520	0.0007	348	66	330	8	327	4
	TM-02	4	51	91	0.65	0.0507	0.0022	0.3827	0.0149	0.0504	0.0007	415	86	329	11	317	5
	TM-03	6	100	112	0.79	0.0505	0.0032	0.3979	0.0221	0.0512	0.0009	467	122	340	16	322	5
	TM-04	48	1438	746	0.52	0.2368	0.0065	1.6485	0.0441	0.0505	0.0007	3099	43	989	17	317	4
	TM-05	6	184	164	0.89	0.0527	0.0026	0.3680	0.0179	0.0506	0.0008	316	109	318	13	318	5
	TM-06	6	141	144	0.94	0.0529	0.0027	0.3687	0.0185	0.0507	0.0009	316	112	319	14	319	5
	TM-07	7	187	180	0.96	0.0670	0.0076	0.4668	0.0511	0.0505	0.0016	838	218	389	35	318	10
	TM-08	7	117	154	1.02	0.0527	0.0032	0.3821	0.0216	0.0507	0.0009	399	124	329	16	319	6
	TM-09	8	87	142	1.06	0.0535	0.0136	0.4719	0.0888	0.0491	0.0026	919	355	393	61	309	16
	TM-10	8	207	164	1.13	0.0564	0.0067	0.3615	0.0466	0.0519	0.0017	217	279	313	35	326	10
	TM-11	11	466	302	1.32	0.0547	0.0024	0.3535	0.0164	0.0505	0.0009	229	105	307	12	318	5
	TM-12	12	139	219	1.58	0.0525	0.0025	0.3721	0.0173	0.0514	0.0009	308	103	321	13	323	5
	TM-13	16	413	389	1.64	0.0697	0.0031	0.3686	0.0213	0.0505	0.0010	326	128	319	16	318	6
	TM-14	19	848	525	1.79	0.0551	0.0029	0.3661	0.0202	0.0507	0.0010	302	122	317	15	319	6
百 灵 山	BLS-01	3	70	78	0.86	0.0532	0.0021	0.3921	0.0144	0.0517	0.0008	412	81	336	11	325	5
	BLS-02	3	72	88	0.86	0.0560	0.0036	0.3657	0.0239	0.0495	0.0010	354	144	316	18	311	6
	BLS-03	4	95	104	0.96	0.0531	0.0019	0.3440	0.0128	0.0491	0.0007	230	85	300	10	309	4
	BLS-04	4	120	115	0.98	0.0528	0.0018	0.3812	0.0125	0.0503	0.0007	411	72	328	9	316	4
	BLS-05	4	58	88	0.99	0.0583	0.0019	0.3683	0.0128	0.0501	0.0007	340	78	318	10	315	4
	BLS-06	4	128	110	1.09	0.0538	0.0021	0.3614	0.0142	0.0498	0.0008	313	88	313	11	313	5
	BLS-07	4	126	124	1.09	0.0533	0.0021	0.3853	0.0140	0.0499	0.0008	451	80	331	10	314	5
	BLS-08	6	72	108	1.10	0.0508	0.0019	0.3754	0.0134	0.0516	0.0008	320	80	324	10	324	5
	BLS-09	6	121	133	1.10	0.0526	0.0034	0.3884	0.0239	0.0516	0.0010	394	135	333	18	325	6
	BLS-10	6	166	143	1.23	0.0546	0.0044	0.3891	0.0310	0.0525	0.0012	363	174	334	23	330	8
	BLS-11	7	176	172	1.29	0.0550	0.0024	0.3690	0.0167	0.0504	0.0009	335	100	319	12	317	5
	BLS-12	7	131	144	1.51	0.0550	0.0024	0.3676	0.0163	0.0501	0.0009	337	98	318	12	315	5
	BLS-13	8	136	175	1.53	0.0536	0.0027	0.4172	0.0190	0.0519	0.0009	539	98	354	14	326	6

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
		(×10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄 (Ma)						
白石泉	BSQ-01	11	58	133	0.96	0.0541	0.0029	1.0283	0.0451	0.1162	0.0019	748	92	718	23	708	11	
	BSQ-02	19	68	154	1.02	0.0678	0.0012	1.0145	0.0197	0.1160	0.0014	723	40	711	10	707	8	
	BSQ-03	20	79	251	1.35	0.0699	0.0015	1.4372	0.0306	0.1504	0.0019	907	43	905	13	903	10	
	BSQ-04	20	174	546	1.42	0.0693	0.0021	0.8982	0.0280	0.0961	0.0013	863	64	651	15	591	8	
	BSQ-05	37	389	661	1.59	0.0634	0.0010	0.3414	0.0065	0.0470	0.0006	314	42	298	5	296	3	
	BSQ-06	65	392	763	1.92	0.0519	0.0030	0.9110	0.0378	0.0935	0.0015	947	84	658	20	576	9	
	BSQ-07	71	393	860	1.95	0.0527	0.0017	1.1267	0.0216	0.0901	0.0011	1440	36	766	10	556	7	
	BSQ-08	76	405	985	1.95	0.0642	0.0019	0.9432	0.0234	0.0913	0.0012	1067	49	675	12	563	7	
	BSQ-09	82	411	993	2.53	0.0709	0.0026	1.4216	0.0504	0.1455	0.0022	953	72	898	21	876	12	
	BSQ-10	83	447	1059	2.65	0.0907	0.0013	1.4448	0.0263	0.1499	0.0018	926	36	908	11	900	10	
	BSQ-11	84	694	1222	3.14	0.0846	0.0010	0.3361	0.0067	0.0469	0.0006	282	44	294	5	296	4	
	BSQ-12	99	1037	1575	3.19	0.0749	0.0020	1.0165	0.0244	0.0872	0.0011	1306	46	712	12	539	7	
	BSQ-13	114	1431	1778	3.79	0.0706	0.0015	0.3688	0.0100	0.0479	0.0006	445	59	319	7	302	4	
	BSQ-14	120	1642	2280	4.33	0.0558	0.0013	0.3797	0.0089	0.0509	0.0006	373	52	327	7	320	4	
迪坎	DK-01	2	46	72	1.16	0.0524	0.0029	0.3526	0.0180	0.0460	0.0008	438	112	307	14	290	5	
	DK-02	3	34	60	1.19	0.0602	0.0042	0.3334	0.0257	0.0450	0.0010	362	168	292	20	284	6	
	DK-03	3	78	90	1.34	0.0663	0.0023	0.3393	0.0145	0.0458	0.0007	362	95	297	11	288	4	
	DK-04	3	80	95	1.42	0.0535	0.0037	0.3994	0.0229	0.0457	0.0008	722	120	341	17	288	5	
	DK-05	3	69	99	1.44	0.0597	0.0064	0.4178	0.0381	0.0448	0.0012	857	184	355	27	283	7	
	DK-06	4	73	104	1.56	0.0658	0.0051	0.4516	0.0293	0.0431	0.0009	1096	129	378	21	272	6	
	DK-07	4	67	107	1.60	0.0518	0.0035	0.4160	0.0216	0.0455	0.0008	817	108	353	16	287	5	
	DK-08	4	87	117	1.61	0.0538	0.0016	0.3302	0.0100	0.0463	0.0006	274	68	290	8	292	4	
	DK-09	5	69	114	1.62	0.0676	0.0041	0.4649	0.0258	0.0470	0.0009	980	112	388	18	296	5	
	DK-10	5	67	108	1.65	0.0538	0.0019	0.3379	0.0117	0.0458	0.0006	350	77	296	9	289	4	
	DK-11	5	71	115	1.65	0.0556	0.0022	0.3700	0.0135	0.0449	0.0006	593	78	320	10	283	4	
	DK-12	6	71	117	1.68	0.0761	0.0043	0.4174	0.0266	0.0460	0.0009	800	131	354	19	290	6	
	DK-13	6	80	135	1.69	0.0634	0.0038	0.3767	0.0230	0.0454	0.0009	611	129	325	17	286	5	
	DK-14	7	106	178	1.75	0.0718	0.0021	0.3371	0.0131	0.0467	0.0006	301	87	295	10	294	4	

万方数据

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
黄 山	HSYT-01	290	408	478	1.17	0.1706	0.0026	0.9446	0.1948	0.4653	0.0065	2563	26	2518	17	2463	28
	HSYT-02	16	104	334	0.54	0.1189	0.0022	0.3535	0.0150	0.0490	0.0008	298	93	307	11	309	5
	HSYT-03	21	152	424	2.20	0.0644	0.0062	0.4910	0.0329	0.0398	0.0009	1414	126	406	22	252	6
	HSYT-04	25	207	645	2.59	0.0646	0.0216	0.5593	0.1543	0.0535	0.0041	1092	485	451	101	336	25
	HSYT-05	30	131	522	2.71	0.0523	0.0142	0.8809	0.0854	0.0460	0.0018	2212	168	642	46	290	11
	HSYT-06	37	216	587	2.77	0.0759	0.0018	0.3605	0.0112	0.0446	0.0007	554	65	313	8	281	4
	HSYT-07	41	1777	958	2.78	0.0768	0.0068	0.4162	0.0353	0.0390	0.0011	1132	164	353	25	247	7
	HSYT-08	76	370	981	2.65	0.2004	0.0049	1.4377	0.0359	0.0521	0.0008	2829	39	905	15	327	5
	HSYT-09	59	188	969	2.79	0.0607	0.0029	0.3696	0.0176	0.0442	0.0008	629	100	319	13	279	5
	HSYT-10	159	1353	3510	3.11	0.0568	0.0215	0.7110	0.1221	0.0434	0.0026	1939	292	545	72	274	16
	HSYT-11	105	740	1383	1.87	0.0540	0.0025	0.4937	0.0227	0.0664	0.0012	370	100	407	15	414	7
	HSYT-12	184	528	2601	3.22	0.0586	0.0022	0.6298	0.0175	0.0549	0.0009	1274	51	496	11	345	5
	HSYT-13	126	192	577	3.00	0.2129	0.0069	2.4101	0.0772	0.0822	0.0015	2928	51	1246	23	509	9
	HSYT-14	195	1774	3899	3.53	0.0832	0.0207	0.3452	0.1228	0.0441	0.0036	482	650	301	93	278	22
	HSYT-15	273	1578	4392	3.99	0.0895	0.0033	0.5312	0.0225	0.0502	0.0009	1116	82	433	15	316	6
	HSYT-16	354	1508	5315	4.93	0.1388	0.0018	0.4048	0.0121	0.0457	0.0007	753	59	345	9	288	4
	HSYT-17	529	2213	6132	5.16	0.0774	0.0023	0.3756	0.0138	0.0422	0.0007	762	74	324	10	267	4
白 山 东	BSD-01	43	195	922	4.74	0.0536	0.0032	0.3703	0.0219	0.0501	0.0009	355	131	320	16	315	6
	BSD-02	18	188	635	2.63	0.0540	0.0013	0.3267	0.0081	0.0442	0.0005	354	55	287	6	279	3
	BSD-03	24	177	725	3.01	0.0533	0.0015	0.3237	0.0092	0.0449	0.0006	299	64	285	7	283	4
	BSD-04	32	389	1025	3.11	0.0538	0.0017	0.3415	0.0108	0.0464	0.0006	343	71	298	8	293	4
	BSD-05	32	272	899	3.15	0.0594	0.0015	0.3323	0.0094	0.0448	0.0006	361	63	291	7	283	4
	BSD-07	34	283	1169	3.16	0.0617	0.0020	0.3601	0.0118	0.0440	0.0006	582	71	312	9	277	4
	BSD-08	36	337	1063	3.31	0.0560	0.0023	0.3465	0.0141	0.0449	0.0007	450	89	302	11	283	4
	BSD-09	46	351	1189	3.37	0.0567	0.0035	0.3230	0.0215	0.0456	0.0009	256	149	284	16	288	5
	BSD-10	48	412	1282	3.39	0.0523	0.0029	0.3829	0.0176	0.0450	0.0007	663	98	329	13	284	4
	BSD-11	55	387	1322	3.41	0.0536	0.0041	0.3357	0.0250	0.0455	0.0010	351	163	294	19	287	6
	BSD-13	58	462	1390	4.11	0.0513	0.0027	0.3407	0.0159	0.0436	0.0007	478	103	298	12	275	4
	BSD-14	69	559	1762	4.13	0.0535	0.0027	0.3582	0.0178	0.0481	0.0008	371	110	311	13	303	5

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄 (Ma)					
管 道	GD-01	13	356	252	0.28	0.0924	0.0038	0.4633	0.0229	0.0447	0.0008	1071	99	387	16	282	5
	GD-02	17	180	255	0.71	0.0731	0.0028	0.4006	0.0163	0.0440	0.0007	807	85	342	12	278	4
	GD-03	19	156	291	1.05	0.0906	0.0023	0.4644	0.0139	0.0442	0.0006	1100	60	387	10	279	4
	GD-04	123	787	1921	2.44	0.1277	0.0052	0.7512	0.0291	0.0426	0.0007	2067	70	569	17	269	5
	GD-05	20	165	331	1.06	0.0971	0.0043	0.4322	0.0247	0.0429	0.0008	1016	115	365	17	271	5
	GD-06	21	190	386	1.16	0.0539	0.0029	0.3629	0.0179	0.0462	0.0008	491	108	314	13	291	5
	GD-07	37	508	591	1.42	0.0566	0.0044	0.5876	0.0272	0.0461	0.0008	1475	88	469	17	291	5
	GD-08	51	198	797	1.86	0.0570	0.0018	0.3657	0.0115	0.0459	0.0006	521	69	316	9	289	4
	GD-09	64	516	1063	1.99	0.0643	0.0019	0.3357	0.0114	0.0430	0.0006	474	75	294	9	272	4
	GD-10	65	595	623	2.01	0.0578	0.0022	0.3486	0.0140	0.0469	0.0007	365	90	304	11	296	4
	GD-11	101	1186	1262	2.03	0.0751	0.0071	0.6335	0.0445	0.0473	0.0012	1570	131	498	28	298	7
	GD-12	139	1102	2191	2.06	0.0660	0.0056	0.5587	0.0333	0.0447	0.0009	1438	114	451	22	282	6
	GD-13	372	13966	3968	4.04	0.0762	0.0026	0.4136	0.0162	0.0466	0.0007	752	82	352	12	294	4
	GD-14	127	1274	1226	0.96	0.2174	0.0062	1.3742	0.0375	0.0458	0.0007	2962	45	878	16	289	4
红 石	HS-01	13	135	264	0.87	0.0517	0.0011	0.3320	0.0072	0.0457	0.0006	314	48	291	5	288	3
	HS-02	17	154	320	1.19	0.0521	0.0041	0.3939	0.0256	0.0468	0.0009	642	137	337	19	295	6
	HS-03	20	205	356	1.42	0.0537	0.0018	0.3285	0.0107	0.0442	0.0006	368	72	288	8	279	4
	HS-04	20	216	375	1.59	0.0538	0.0021	0.3271	0.0132	0.0455	0.0006	290	89	287	10	287	3
	HS-05	21	224	408	1.62	0.0568	0.0048	0.3422	0.0303	0.0469	0.0011	326	194	299	23	295	7
	HS-06	22	265	413	1.93	0.0539	0.0013	0.3512	0.0079	0.0453	0.0006	461	50	306	6	286	3
	HS-08	23	266	417	1.99	0.0527	0.0024	0.3878	0.0147	0.0449	0.0007	695	80	333	11	283	4
	HS-09	25	302	431	2.08	0.0529	0.0014	0.3341	0.0085	0.0451	0.0006	360	57	293	6	284	3
	HS-10	31	364	472	2.12	0.0611	0.0034	0.3386	0.0199	0.0432	0.0008	484	129	296	15	273	5
	HS-12	45	397	772	2.96	0.0562	0.0012	0.3155	0.0075	0.0443	0.0005	272	53	279	6	279	3
	HS-13	69	406	1201	3.05	0.0626	0.0013	0.3212	0.0079	0.0434	0.0005	359	55	283	6	274	3

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(× 10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
陇 东	LD-01	6	125	151	0.66	0.0573	0.0043	0.3525	0.0248	0.0429	0.0009	588	149	307	19	271	6
	LD-02	8	190	248	0.87	0.0549	0.0019	0.3588	0.0111	0.0434	0.0006	604	67	311	8	274	4
	LD-03	9	236	296	0.90	0.0600	0.0029	0.3353	0.0170	0.0427	0.0007	491	111	294	13	269	4
	LD-04	37	77	262	3.38	0.0911	0.0028	2.3625	0.0723	0.1880	0.0027	1449	58	1231	22	1111	14
	LD-05	12	266	317	1.01	0.0546	0.0016	0.3169	0.0098	0.0443	0.0006	283	70	280	8	279	4
	LD-06	14	294	344	1.04	0.0570	0.0019	0.3183	0.0116	0.0449	0.0007	260	82	281	9	283	4
	LD-07	15	310	426	1.05	0.0590	0.0040	0.3087	0.0236	0.0435	0.0009	262	170	273	18	274	6
	LD-08	19	331	440	1.19	0.0514	0.0025	0.3320	0.0153	0.0448	0.0007	361	102	291	12	282	5
	LD-09	20	446	470	1.21	0.0596	0.0032	0.3558	0.0186	0.0433	0.0008	587	112	309	14	273	5
	LD-10	22	505	493	1.21	0.0538	0.0052	0.3401	0.0315	0.0451	0.0012	398	200	297	24	285	7
	LD-11	26	724	688	1.25	0.0585	0.0034	0.3501	0.0196	0.0434	0.0008	547	120	305	15	274	5
	LD-12	39	749	904	1.52	0.0596	0.0027	0.3333	0.0159	0.0440	0.0008	409	105	292	12	278	5
	LD-13	45	919	979	1.54	0.0519	0.0030	0.3478	0.0177	0.0440	0.0008	504	111	303	13	278	5
	LD-14	78	1087	1111	2.24	0.0515	0.0034	0.3493	0.0196	0.0429	0.0008	568	120	304	15	271	5
多 头 山	DTS-01	8	93	150	0.71	0.0515	0.0071	0.3066	0.0415	0.0437	0.0015	234	292	272	32	276	9
	DTS-02	8	94	159	1.18	0.0561	0.0027	0.3327	0.0159	0.0436	0.0007	423	106	292	12	275	5
	DTS-03	9	95	160	1.55	0.0625	0.0074	0.3875	0.0443	0.0449	0.0014	692	233	333	32	283	9
	DTS-05	9	95	164	1.60	0.0536	0.0038	0.3006	0.0220	0.0426	0.0009	249	163	267	17	269	6
	DTS-06	11	102	215	1.61	0.0522	0.0088	0.3150	0.0522	0.0438	0.0018	292	347	278	40	276	11
	DTS-07	12	137	218	1.71	0.0553	0.0058	0.3207	0.0340	0.0435	0.0012	347	229	282	26	275	8
	DTS-09	15	158	259	1.74	0.0512	0.0074	0.3317	0.0429	0.0429	0.0015	454	270	291	33	271	9
	DTS-10	22	220	449	1.81	0.0523	0.0034	0.3133	0.0202	0.0434	0.0009	299	142	277	16	274	5
	DTS-11	23	266	480	2.26	0.0508	0.0040	0.2969	0.0221	0.0402	0.0009	352	162	264	17	254	6
	DTS-12	30	749	531	2.84	0.0534	0.0050	0.3085	0.0294	0.0434	0.0012	264	208	273	23	274	7
	DTS-13	341	1248	4369	3.50	0.0595	0.0115	0.3695	0.0694	0.0450	0.0022	586	371	319	51	284	14

续附表
Continoued List

岩体 名称	分析 点号	Pb	²³² Th	²³⁸ U	U/Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
		(×10 ⁻⁶)				同位素比值						年龄(Ma)					
双 岔 沟	SCG-02	15	145	322	1.40	0.0548	0.0011	0.2912	0.0064	0.0398	0.0006	330	46	260	5	252	4
	SCG-03	19	175	397	1.47	0.0508	0.0018	0.2878	0.0098	0.0390	0.0006	349	74	257	8	247	4
	SCG-04	25	271	528	1.55	0.0530	0.0013	0.2816	0.0074	0.0395	0.0006	274	57	252	6	250	4
	SCG-05	29	328	582	1.72	0.0532	0.0013	0.3043	0.0072	0.0396	0.0006	443	49	270	6	250	4
	SCG-06	29	375	607	1.84	0.0558	0.0012	0.2974	0.0071	0.0404	0.0006	344	50	264	6	256	4
	SCG-07	46	558	1074	1.85	0.0535	0.0010	0.2796	0.0059	0.0399	0.0006	232	45	250	5	252	3
	SCG-08	57	562	1254	1.91	0.0520	0.0011	0.2970	0.0067	0.0415	0.0006	284	47	264	5	262	4
	SCG-09	58	781	1347	1.95	0.0517	0.0011	0.2853	0.0062	0.0389	0.0006	338	45	255	5	246	3
	SCG-10	64	888	1348	2.25	0.0520	0.0016	0.2987	0.0088	0.0395	0.0006	405	63	265	7	250	4
	SCG-11	71	918	1422	2.30	0.0555	0.0012	0.2825	0.0070	0.0404	0.0006	231	53	253	6	255	4
	SCG-12	85	1018	2056	2.31	0.0508	0.0010	0.2922	0.0059	0.0408	0.0006	283	42	260	5	258	4
	SCG-13	137	1440	3314	2.73	0.0534	0.0009	0.3049	0.0056	0.0399	0.0006	432	36	270	4	252	3
土 墩	TD-01	3	61	60	0.74	0.0508	0.0046	0.2773	0.0240	0.0384	0.0009	301	189	249	19	243	6
	TD-02	66	920	1208	1.31	0.1549	0.0054	0.8354	0.0283	0.0391	0.0006	2401	58	617	16	247	4
	TD-03	4	118	148	0.80	0.0524	0.0025	0.3192	0.0134	0.0395	0.0006	554	91	281	10	250	4
	TD-04	7	143	177	0.82	0.0564	0.0096	0.4235	0.0497	0.0390	0.0014	1164	224	359	35	247	9
	TD-05	8	167	221	0.90	0.0803	0.0192	0.3298	0.1025	0.0397	0.0030	613	571	289	78	251	19
	TD-06	8	200	250	0.91	0.0548	0.0022	0.2854	0.0115	0.0388	0.0006	341	90	255	9	246	4
	TD-07	9	210	266	0.92	0.0586	0.0028	0.3027	0.0149	0.0390	0.0007	466	108	269	12	246	4
	TD-08	11	324	269	0.99	0.0787	0.0084	0.4429	0.0424	0.0381	0.0012	1298	182	372	30	241	7
	TD-09	14	362	325	1.10	0.0533	0.0071	0.4382	0.0374	0.0396	0.0011	1204	165	369	26	250	7
	TD-10	15	392	480	1.19	0.0545	0.0022	0.2941	0.0115	0.0392	0.0006	390	86	262	9	248	4
	TD-11	20	646	516	1.22	0.0843	0.0034	0.2941	0.0181	0.0389	0.0008	406	134	262	14	246	5
	TD-12	37	778	959	1.23	0.0642	0.0040	0.3455	0.0208	0.0391	0.0008	747	125	301	16	247	5
	TD-13	39	1058	1168	1.50	0.0524	0.0055	0.4304	0.0275	0.0375	0.0008	1277	123	363	20	237	5
	TD-14	41	1363	1245	1.55	0.0603	0.0047	0.2876	0.0252	0.0398	0.0010	303	191	257	20	252	6
	TD-15	82	2431	2227	1.62	0.0833	0.0034	0.2731	0.0179	0.0390	0.0008	234	147	245	14	246	5

万方数据