## 新疆温泉县别珍套山新元古代花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其成因

曾祥武,赵 军,聂晓勇 ZENG Xiangwu, ZHAO Jun, NIE Xiaoyong

原武警黃金第八支队,新疆 乌鲁木齐 830057 No.8 Gold Geological Party of PAP, Urumqi 830057, Xinjiang, China

摘要:对新疆温泉县别珍套山新元古代花岗岩开展了相关研究。获得了 3 个片麻状-眼球状花岗岩 4 件结石样品年龄,其中 <sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U 年龄值一致,大多集中在 910~950 Ma 之间。极少量继承结石的年龄大于 1000 Ma。这些花岗岩以特有的粗粒、巨大的眼球状片麻结构为特征。岩体具有高硅(≥70%)、富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O,6.5%~8.9%)且 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O 的特征,表现出从钙碱 性到钾玄岩演化的变化趋势。稀土元素特征表明其与碱性花岗岩相似。样品的微量元素妹网图几乎完全相同,均明显亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti,富集 Rb、Th、U、K 等元素,显示活动大陆边缘岩石特征。全岩 Sr-Nd 同位素特征表明具典型壳源花岗岩 (S型花岗岩)的特征。Lu-Hf 同位素特征表明单阶段 Hf 模式年龄(t<sub>DM1</sub>)为 883~1351 Ma,平均为 1133 Ma;二阶段 Hf 模式年龄(t<sub>DM2</sub>)为 891~1588 Ma,平均为 1250 Ma,与锆石形成年龄较接近。新元古代早期(约9 Ga)片麻状花岗岩可能是与 Rodinia 超大陆会聚有关的格林维尔期造山作用、地壳增厚导致地壳物质部分熔融的产物。

关键词:花岗岩;锆石 U-Pb 年龄;地球化学;新元古代;温泉县

**中图分类号:**P534.3;P588.12<sup>+</sup>1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)02/03-0177-17

# Zeng X W, Zhao J, Nie X Y. LA-ICP-MS zircon U-Pb age, geochemistry and genesis of Neoproterozoic granitoids in the Biezhentao Mountain of Wenquan County, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(2/3):177-193

**Abstract:** The Neoproterozoic granites of the Biezhentao Mountain in Wenquan County of Xinjang were studied in this paper. Four LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of 910~950 Ma were obtained for granitic gneisses in the Biezhentao Mountain of Wenquan County of Xinjiang. These new zircon LA-ICP MS U-Pb ages, together with previously published data, indicate that the granites were emplaced during 910~950 Ma. A few inherited old zircons U-Pb ages of >1000 Ma were found in all dated samples; they may have derived from the source rocks. These granitoids are characterized by a very coarse grained and huge augen gneiss texture. Major element data indicate that they belong to peraluminous monzogranite, with SiO<sub>2</sub>( $\geq$ 70%), K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O(6.5%~8.9%), and K<sub>2</sub>O > Na<sub>2</sub>O, thus defined as calc-alkaline to shoshonitic rocks. These rocks show nearly parallel REE patterns with different abundances and distinct negative Eu anomalies. All the granitoids display similar spider diagrams with obvious negative anomalies of Ba, Nb, Ta, Sr, P and Ti, and obvious enrichment of Rb, Th, U, K. Sr-Nd data suggest that the protoliths of Neoproterozoic granitoids belong to peraluminous S-type granites. Zircon  $\varepsilon_{Hf}(t)$  values range from +1.7 to +5.7, with model ages( $t_{DM1}$ ) of 883~1351 Ma and model ages( $t_{DM2}$ ) of 891~1588 Ma. Furthermore, with the age information on the ancient terranes of Tarim basin, the authors hold that the Tianshan ancient block probably formed a part of Rodina supercontinent during Early Neoproterozoic period and these granitoid rocks were linked to lithospheric thickening.

Key words: granite; zircon U-Pb age; geochemistry; Neoproterozoic; Wenquan County

收稿日期:2018-05-03;修订日期:2018-07-01

资助项目:中国地质调查局项目《西北华北重点地区地质矿产调查评价》(编号: 12120115041301)

作者简介:曾祥武(1977-),男,硕士,高级工程师,从事多金属矿产勘查工作和区矿调工作。E-mail:tzxw126@126.com

赛里木地块位于温泉县博尔塔拉河断裂以南 直至伊犁盆地北缘,发育古元古代变质基底,上覆 长城系--震旦系盖层,以及早古生代和晚古生代的 沉积地层。其中,古元古界温泉岩群出露区是天山 造山带中仅有的几个变质基底出露区之一,是研究 天山造山带元古宙陆壳形成、演化的重要场所。元 古宙变质岩温泉群主要由片麻岩、片岩、大理岩、角 闪岩、石英岩等组成[1]①,并含有火山岩和花岗岩[2]。 这些变质岩沿科古琴山-别珍套山呈近东西向出 露,一直延伸到哈萨克斯坦境内,被认为是天山基 底的一部分[3-9],是研究天山地区前寒武纪地质历 史的重要窗口。温泉岩群在博尔塔拉河南岸别珍 套山北坡是在中国境内出露最完整的地区。在 1:20 万区调报告<sup>①</sup>中,新疆温泉县别珍套山新元古 代花岗岩被划为温泉岩群的变质岩系,20世纪90 年代后,随着测年技术的不断进步,才逐步被识别 出来。胡霭琴等[2,10-12] 对温泉岩群中的变质岩进行 同位素年代学研究,不同时期采用不同方法获得了 不同的年龄结果。胡霭琴等[2] 对眼球状花岗片麻岩 开展了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,获得年龄值为 913±13 Ma,并认为是其原岩(花岗岩)的形成年龄。 胡霭琴等[11-12] 对温泉岩群中片麻状花岗岩和斜长 角闪岩开展了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,其中,片 麻状花岗岩的年龄约920 Ma,斜长角闪岩的年龄为 450~455 Ma;另外,李孔森等<sup>[13]</sup> 对温泉岩群中的花 岗片麻岩、闪长岩(同胡霭琴等研究的斜长角闪 岩)、混合岩浅色体同样进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,其结果分别为 907±11 Ma、452±7 Ma、926± 12 Ma。这些研究工作最有意义之处在于:从温泉 岩群中厘定出了变质侵入岩和弱变形侵入岩,分别 代表早新元古代和晚奥陶世 2 期重要的岩浆活动。 这些学者对该区岩浆岩研究主要偏重于年代学和 岩石地球化学方面,缺乏空间分布和野外宏观特征 的调查工作,制约了对该区前寒武纪以来构造-岩 浆事件的反演。

本文在详细分析前人资料的基础上,通过野 外地质调查工作,对3个眼球状片麻状--眼球状花 岗岩采集了4件锆石测年样品开展年代学研究, 并结合主量、微量元素和Sm、Nd、Hf同位素地球 化学特征,探讨天山新元古代早期岩浆岩形成的 构造环境及在研究全球 Rodinia 超大陆演化中的 意义。

### 1 区域构造背景及岩体地质

研究区位于中亚造山带新疆境内的西天山北 缘,大地构造位置为准噶尔板块(I级)伊犁-伊赛克 湖微板块(I级)赛里木地块(II级)(参见区域地质 调查报告(扎冷木特、柯克他乌、牧区医院、牙马 特)<sup>2</sup>,见图1。

研究区处于赛里木地块的北缘,古元古界温泉 岩群(Pt<sub>1</sub>W.)的主体出露于本区,长城系特克斯岩 群莫合西萨依岩组(Chm.)呈高角度构造面理与其 接触,上覆少量晚古生代沉积地层。其中,温泉岩 群主要为一套中深变质岩系,由长英质片麻岩和片 岩、角闪岩、大理岩组成,原岩为双峰式火山岩、滨 浅海相石英砂岩、长石石英砂岩夹粉砂岩、台地相



Fig. 1 Simplified intrusive rock map of the Wenquan area in West Tianshan

的碳酸盐岩、发育少量基性岩墙,整体沉积环境类 似于威尔逊旋回的幼年期:陆壳拉伸、地幔物质上 涌、洋盆不断扩展,具有裂陷槽的特点。特克斯岩 群莫合西萨依岩组为一套低-中级变质岩系,由变 碎屑岩、石英岩、石英片岩、千枚状片岩、千枚岩和 碳酸盐岩组成,原岩为滨浅海相石英砂岩、泥页岩 和台地相灰岩、白云岩,整体沉积环境类似被动大 陆边缘、威尔逊旋回的成年期:洋盆规模不断扩大. 接受稳定的陆源碎屑岩沉积。晚古生代沉积地层 包括中泥盆统汗吉尕组(D,h)、上泥盆统托斯库尔 他乌组 $(D_{a}t)$ 、下石炭统大哈拉军山组 $(C_{1}d)$ 和阿克 沙克组(C<sub>1</sub>a)。其中,泥盆系主要为一套浅海相陆 源碎屑岩,含大量植物化石和少量动物化石,沉积 环境稳定,无明显海侵、海退过程;下石炭统主要为 一套浅海相陆源碎屑岩、酸性火山岩及同质火山碎 屑岩,夹少量灰岩,沉积环境为活动大陆边缘 (图2)。

研究区出露的新元古代侵入岩类型单一,为片 麻状-眼球状二长花岗岩,主要沿牙马特南山和伊 力比斯提北侧一带分布,呈脉状、透镜体状分布,长 轴近东西向,与温泉岩群变质岩系呈构造面理接 触,后期被奥陶纪闪长岩类侵入。该类岩体数量较 多,规模不一,规模较大者包括牙马特南山片麻状-条纹状二长花岗岩和伊力比斯提片麻状-眼球状二 长花岗岩。前者沿牙马特南山主脊出露,东西长约 24 km,南北宽 0.5~2 km,局部被断层错断,与温泉 岩群托克赛岩组和牙马特岩组呈断层或构造面理 接触,岩体中含大量温泉岩群片岩和斜长角闪岩残 留体(图 3-a);后者出露于伊力比斯提韧性剪切带 以北,东西长约 13 km,南北宽 200~600 m,南侧与 温泉岩群西伯提岩组呈糜棱面理接触,北侧被奥陶 纪花岗闪长岩侵入(图 3-b)。

该类岩石类型相对简单,主要岩性为眼球状、 条纹状黑云二长花岗片麻岩,受后期变质变形作用 改造,呈明显的似层状近东西向展布。总体宏观特 征为:①与温泉岩群变质岩系构造面理接触,片麻 理产状与主期面理(S<sub>n</sub>)一致;②岩性较稳定,横向 上无明显变化,纵向具有明显的结构构造变化,一 般情况下,从南到北从巨斑状变化为条纹状和条带 状;③部分地段含少量角闪石和石榴子石;④岩石 中含少量暗色细粒包体和细粒斜长角闪岩残留体, 局部地段含大规模云母片岩夹石榴角闪岩残留体, 多呈团块状、条带状沿片麻理展布;⑤岩层局部地 段发育顺层不对称褶皱,褶皱面为片麻理,轴面近 水平。

岩石主要由钾长石、斜长石、石英、黑云母等组成,具典型的眼球状、条纹状和片麻状构造。眼球 主要为钾长石,多呈粗大眼球状,少量为半自形短 板状-他形粒状,粒径多为1~4 cm(长轴),可见明 显的卡氏双晶,部分呈条纹状沿片麻理分布。变余 基质中,斜长石和钾长石多呈半自形短板状-他形 粒状,偶见蠕英石,碎裂化明显,粒径多小于3 mm, 边缘细粒化,多具波状消光,定向分布,二者含量相 当,共50%~60%。石英为他形粒状,粒径1~3 mm,



Fig. 2 Simplified geological map for the Biezhentao Mountain of Wenquan County



a—托克赛附近岩体特征示意图;b—夏尔依西根附近岩体特征示意图

细粒化明显,部分发生动态重结晶,具波状消光、变 形纹,定向分布,含量 20%~30%。黑云母呈片状, 片径多小于 2.0 mm,主要沿长石和石英旁侧不均匀 定向分布,构成片麻状构造,含量 5%~10%不等。根 据镜下鉴定结果,综合判断该类片麻状--眼球状花岗 岩的原岩可能为二长花岗岩和花岗闪长岩。

#### 2 样品概况及测试方法

样品均采自新鲜的岩体露头。岩石试样经锆石单矿物挑选、制备样品靶后,拍摄阴极发光(CL)、透射光图像和反射光图像,选取分析点位;用激光剥蚀等离子体质谱仪原位分析锆石微区的 U-Pb 比值(<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U、<sup>207</sup> Pb/<sup>235</sup> U和<sup>207</sup> Pb/<sup>206</sup> Pb)。锆石的CL图像分析在武汉上谱公司扫描电镜实验室完成。锆石的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位 U-Pb 定年在中国地质调查局西安地质调查中心完成。

本次样品的主量、稀土及微量元素分析由西安 地质调查中心完成。内检样品比例大于 20%,内检 分析原始合格率为98%。符合相关质量规范要求。 Sr-Nd的化学分析和同位素比值测量在中国科学院 地质与地球物理研究所完成,测量仪器为德国 Finnegan 公司 MAT 262 热电离质谱计。

锆石 Hf 同位素测试在中国地质科学院矿产资 源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实 验室 Neptune 多接收等离子质谱和 New wave UP213 紫外激光剥蚀系统(LA-MC-ICP-MS)上进 行,实验过程中采用氦气作为剥蚀物质载气,根据 锆石大小,剥蚀直径采用55 μm,测定时使用锆石标 样 Gj-1 和 Plesovice 为参考物质,分析点接近 U-Pb 定年分析点位置。相关仪器运行条件及详细分析 流程见侯可军等<sup>[14]</sup>。

#### 3 锆石 U-Pb 年代学

本次对区内3个眼球状片麻状--眼球状花岗岩 采集了4件锆石测年样品开展年代学研究,测试结 果见表1。

|      |            |                     |                  |      | Ë                               | 表 1<br>able 1 Z | 新元古代片<br>lircon U-Th·                | 麻状花岗<br>Pb datii | ə岩锆石 U-J<br>ng results of      | ○h-Pb 年龄<br>Neoprotero | 测试结果<br>zoic granitoid        | s         |  |           |                                      |           |   |
|------|------------|---------------------|------------------|------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------|--|-----------|--------------------------------------|-----------|---|
| 测点   | Pb<br>(過量) | $^{232}\mathrm{Th}$ | <sup>238</sup> U | Th/U |                                 |                 | 同位                                   | 素比值              |                                |                        |                               |           | 同位素年齢                                  | ∲∕Ma      |                                      |           | ■<br>「<br>」<br>日<br>「<br>」<br>日<br>「<br>」<br>「<br>」<br>「<br>」<br>「<br>」<br>「<br>」<br>「<br>」<br>「<br>」<br>」<br>」<br>「<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」<br>」 |
| I    |            | $/10^{-6}$          |                  |      | $^{207}{\rm Pb}/^{206}{\rm Pb}$ | $1\sigma$       | $^{207}\mathrm{Pb}/^{235}\mathrm{U}$ | 1σ               | $^{206}{\rm Pb}/^{238}{\rm U}$ | 10                     | $^{207}\rm{Pb}/^{206}\rm{Pb}$ | $1\sigma$ | $^{207} \mathrm{Pb}/^{235} \mathrm{U}$ | $1\sigma$ | $^{206}\mathrm{Pb}/^{238}\mathrm{U}$ | $1\sigma$ | 度/%   |
| PM16 | -2-TW1     |                     |                  |      |                                 |                 |                                      |                  |                                |                        |                               |           |  |           |                                      |           |   |
| 1    | 122        | 78                  | 688              | 0.11 | 0.0681                          | 0.0017          | 1.524                                | 0.039            | 0.1624                         | 0.0024                 | 870                           | 50        | 940                                    | 16        | 970                                  | 13        | 96.9  |
| 2    | 172        | 253                 | 948              | 0.27 | 0.0666                          | 0.0014          | 1.504                                | 0.034            | 0.1638                         | 0.0023                 | 826                           | 44        | 932                                    | 14        | 978                                  | 13        | 95.3  |
| 3    | 178        | 159                 | 1066             | 0.15 | 0.0674                          | 0.0014          | 1.419                                | 0.031            | 0.1527                         | 0.0022                 | 849                           | 42        | 897                                    | 13        | 916                                  | 12        | 97.9  |
| 4    | 216        | 1387                | 1026             | 1.35 | 0.0669                          | 0.0014          | 1.356                                | 0.030            | 0.1471                         | 0.0021                 | 834                           | 43        | 870                                    | 13        | 885                                  | 12        | 98.3  |
| Ŋ    | 127        | 157                 | 662              | 0.24 | 0.0726                          | 0.0017          | 1.670                                | 0.040            | 0.1668                         | 0.0024                 | 1003                          | 46        | 266                                    | 15        | 995                                  | 13        | 100.2   |
| 9    | 507        | 619                 | 3233             | 0.19 | 0.0691                          | 0.0010          | 1.375                                | 0.023            | 0.1444                         | 0.0020                 | 901                           | 29        | 879                                    | 10        | 870                                  | 11        | 101.0   |
| 4    | 473        | 810                 | 2945             | 0.28 | 0.0693                          | 0.0010          | 1.409                                | 0.024            | 0.1475                         | 0.0020                 | 908                           | 30        | 893                                    | 10        | 887                                  | 11        | 100.7   |
| 8    | 233        | 180                 | 1389             | 0.13 | 0.0671                          | 0.0013          | 1.419                                | 0.029            | 0.1535                         | 0.0022                 | 839                           | 39        | 897                                    | 12        | 921                                  | 12        | 97.4  |
| 6    | 160        | 100                 | 948              | 0.11 | 0.0662                          | 0.0015          | 1.417                                | 0.033            | 0.1553                         | 0.0022                 | 812                           | 46        | 896                                    | 14        | 931                                  | 12        | 96.2  |
| 10   | 173        | 184                 | 1040             | 0.18 | 0.0685                          | 0.0015          | 1.437                                | 0.032            | 0.1521                         | 0.0022                 | 884                           | 43        | 904                                    | 13        | 913                                  | 12        | 0.66  |
| 12   | 204        | 617                 | 1316             | 0.47 | 0.0716                          | 0.0014          | 1.392                                | 0.030            | 0.1411                         | 0.0020                 | 973                           | 40        | 885                                    | 13        | 851                                  | 11        | 104.0   |
| 13   | 187        | 135                 | 1109             | 0.12 | 0.0664                          | 0.0014          | 1.425                                | 0.032            | 0.1556                         | 0.0022                 | 820                           | 44        | 899                                    | 13        | 932                                  | 12        | 96.5  |
| 14   | 139        | 193                 | 749              | 0.26 | 0.0669                          | 0.0016          | 1.526                                | 0.038            | 0.1655                         | 0.0024                 | 834                           | 49        | 941                                    | 15        | 987                                  | 13        | 95.3  |
| 15   | 62         | 120                 | 351              | 0.34 | 0.0675                          | 0.0024          | 1.432                                | 0.051            | 0.1540                         | 0.0025                 | 853                           | 72        | 903                                    | 21        | 923                                  | 14        | 97.8  |
| 16   | 182        | 135                 | 1124             | 0.12 | 0.0673                          | 0.0014          | 1.391                                | 0.031            | 0.1500                         | 0.0022                 | 846                           | 42        | 885                                    | 13        | 901                                  | 12        | 98.2  |
| 17   | 136        | 114                 | 795              | 0.14 | 0.0679                          | 0.0015          | 1.459                                | 0.035            | 0.1560                         | 0.0023                 | 865                           | 46        | 914                                    | 14        | 934                                  | 13        | 97.9  |
| 18   | 327        | 192                 | 1985             | 0.10 | 0.0673                          | 0.0011          | 1.420                                | 0.026            | 0.1532                         | 0.0021                 | 846                           | 34        | 897                                    | 11        | 919                                  | 12        | 97.6  |
| 19   | 234        | 1135                | 1436             | 0.79 | 0.0691                          | 0.0013          | 1.427                                | 0.028            | 0.1498                         | 0.0021                 | 902                           | 37        | 006                                    | 12        | 006                                  | 12        | 100.0   |
| 20   | 149        | 109                 | 872              | 0.13 | 0.0675                          | 0.0014          | 1.480                                | 0.033            | 0.1592                         | 0.0023                 | 852                           | 43        | 922                                    | 13        | 952                                  | 13        | 96.8  |
| PM18 | -61-TW1    |                     |                  |      |                                 |                 |                                      |                  |                                |                        |                               |           |  |           |                                      |           |   |
| 1    | 222        | 346                 | 1337             | 0.26 | 0.0679                          | 0.0014          | 1.407                                | 0.032            | 0.1504                         | 0.0023                 | 866                           | 42        | 892                                    | 13        | 903                                  | 13        | 98.8  |
| 7    | 206        | 474                 | 1171             | 0.40 | 0.0725                          | 0.0017          | 1.499                                | 0.038            | 0.1502                         | 0.0024                 | 666                           | 47        | 930                                    | 15        | 902                                  | 13        | 103.1   |
| 3    | 320        | 344                 | 1889             | 0.18 | 0.0696                          | 0.0014          | 1.498                                | 0.033            | 0.1561                         | 0.0024                 | 918                           | 41        | 929                                    | 14        | 935                                  | 13        | 99.4  |
| 4    | 293        | 338                 | 1694             | 0.20 | 0.0699                          | 0.0015          | 1.521                                | 0.036            | 0.1580                         | 0.0024                 | 925                           | 44        | 939                                    | 14        | 945                                  | 14        | 99.4  |
| Ŋ    | 276        | 369                 | 1471             | 0.25 | 0.0721                          | 0.0018          | 1.652                                | 0.043            | 0.1664                         | 0.0026                 | 987                           | 49        | 066                                    | 17        | 992                                  | 15        | 8.66  |
| 9    | 598        | 1050                | 3253             | 0.32 | 0.0717                          | 0.0013          | 1.588                                | 0.033            | 0.1609                         | 0.0025                 | 977                           | 38        | 966                                    | 13        | 962                                  | $^{14}$   | 100.4   |
| 2    | 237        | 907                 | 1313             | 0.69 | 0.0744                          | 0.0023          | 1.593                                | 0.050            | 0.1556                         | 0.0026                 | 1051                          | 60        | 968                                    | 20        | 932                                  | 14        | 103.9   |

| É.          |
|-------------|
| 2           |
| Ň           |
| i-          |
| .e.         |
| 4.          |
| 1.7         |
| 1.5         |
|             |
| 9           |
| ìn          |
| 4           |
| ñ           |
| र्च         |
| ÷.          |
| ~           |
| ~           |
| ĩõ          |
| ň           |
|             |
|             |
| <u>`</u>    |
| 3           |
| 4           |
| 4           |
| र्च -       |
| 9           |
| . <u></u> 2 |
| 1.5         |
| ċ.          |
| 4           |

182

2020年

| 1q $2^{07} pb/^{206} pb$ 1q $2^{07} pb/^{235} U$ 1d0.002493162933190.0023907101909300.002386659913180.002393971885210.002392971885210.002392963912190.002492963912260.002597987912260.002497061944190.002591471944190.002694771916230.002794771916230.002894771916230.002991478950240.002194771916230.0023923140916230.0033923140916240.003391793933290.003491793933280.003591793933280.00389139393280.00299179191240.00289139393930.00289139393930.003894378940780.00289857092920.00289857092920.00289857092<   | Pb/ <sup>238</sup> U         10           1,1559         0.002           1,1516         0.002           1,1557         0.002           1,1557         0.002           1,1557         0.002           1,1557         0.002           1,1557         0.002           1,1557         0.002           1,1522         0.002           1,1522         0.002           1,1544         0.002           1,1554         0.002           1,1558         0.002           1,1558         0.002           1,1558         0.002           1,1558         0.002           1,1558         0.002           1,1558         0.002           1,1554         0.002           1,1558         0.002           1,1564         0.002           1,1504         0.002           1,1504         0.002 | 10         206 F           1.047         0           0.043         0           0.057         0           0.056         0           0.057         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.056         0           0.051         0 | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U<br>1.506<br>1.447<br>1.457<br>1.457<br>1.392<br>1.536<br>1.455<br>1.412<br>1.412<br>1.479<br>1.479<br>1.479<br>1.535<br>1.535<br>1.535<br>1.535<br>1.535<br>1.549<br>(1.549)<br>1.464   | 1σ           0.0022           0.0025           0.0025           0.0025           0.0025           0.0025           0.0025           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023           0.0023 | <sup>207</sup> Pb/. <sup>206</sup> Pb<br>0.0701<br>0.0693<br>0.0679<br>0.0673<br>0.0673<br>0.0673<br>0.0673<br>0.0718<br>0.0715<br>0.0695<br>0.0713<br>0.0706 | 37<br>37<br>37<br>37<br>39<br>39<br>44<br>47<br>47<br>47<br>48<br>48<br>48<br>48<br>44<br>47<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44<br>44  |  | 500         0           501         0           191         0           551         0           354         0           340         0           340         0           395         0           395         0           375         0           375         0  | $\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   |
|--|--|--|---|---|---|---|--|--|---|
| 0.002493162933190.0028907101909300.002386659913180.002392971885210.002392475945230.002392963912190.002392963912190.002484871894210.002597967912260.002497061947210.002597061944210.002694771916230.002594771916240.002694771916240.002594771916230.003591478950230.003591778940240.0035917913861240.003691471916240.0037917913873230.003891793933230.00389179393240.00399179393240.00289179191910.0028919393930.0028940940929400.002994570929240.0028940940929400.00289457092924   | 0.1559     0.002       0.1516     0.002       0.1557     0.002       0.1595     0.002       0.1595     0.002       0.1507     0.002       0.1522     0.002       0.1554     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1565     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002   | ).047     0       ).073     0       ).043     0       ).050     0       ).051     0       ).055     0       ).056     0       ).058     0       ).059     0       ).051     0       ).051     0       ).052     0       ).053     0       ).054     0       ).056     0       ).056     0       ).053     0  | 1.506       1.447         1.447       1.457         1.457       1.455         1.392       1.536         1.455       1.412         1.412       1.412         1.455       1.479         1.455       1.455         1.455       1.455         1.455       1.479         1.535       1.535         1.535       1.549         1.549       1.464 |   | 0.0022<br>0.0035<br>0.0020<br>0.0025<br>0.0024<br>0.0022<br>0.0023<br>0.0023<br>0.0023<br>0.0025<br>0.0025  | 0.0701         0.0022           0.0693         0.0025           0.0679         0.0026           0.0704         0.0025           0.0679         0.0026           0.0673         0.0022           0.0700         0.0022           0.0718         0.0023           0.0691         0.0023           0.0691         0.0023           0.0691         0.0023           0.0691         0.0023           0.0715         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0713         0.0023           0.0723         0.0025           0.0723         0.0025           0.0723         0.0025           0.0723         0.0025 | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 500 $0.37$ $0.0701$ $0.0022$ $191$ $0.60$ $0.0693$ $0.0035$ $551$ $0.40$ $0.0679$ $0.0020$ $354$ $0.48$ $0.0704$ $0.0025$ $281$ $0.39$ $0.0699$ $0.0026$ $414$ $0.47$ $0.0700$ $0.0024$ $211$ $0.47$ $0.0673$ $0.0024$ $211$ $0.54$ $0.0710$ $0.0022$ $340$ $0.47$ $0.0673$ $0.0022$ $340$ $0.47$ $0.0673$ $0.0022$ $399$ $0.47$ $0.0631$ $0.0022$ $395$ $0.47$ $0.0631$ $0.0022$ $305$ $0.47$ $0.0631$ $0.0022$ $516$ $0.36$ $0.0715$ $0.0022$ $516$ $0.36$ $0.0715$ $0.0025$ $516$ $0.36$ $0.0706$ $0.0025$ $372$ $0.0733$ $0.0038$  | 187         500         0.37         0.0701         0.0035           114         191         0.60         0.0693         0.0035           223         551         0.40         0.0679         0.0020           169         354         0.48         0.0704         0.0025           111         281         0.49         0.0704         0.0026           111         281         0.49         0.0700         0.0026           111         281         0.49         0.0700         0.0026           111         281         0.49         0.0700         0.0026           113         211         0.47         0.0673         0.0024           113         211         0.54         0.0703         0.0023           190         399         0.47         0.0631         0.0033           186         395         0.47         0.063         0.0033           186         395         0.46         0.0715         0.0025           273         605         0.45         0.0715         0.0025           288         712         0.36         0.0706         0.0025 |
| 0.0028907101909300.002386659913180.002393971885210.002492475945230.002592963912190.002484871894210.002597963912260.002484871894210.002597967922230.002697061944190.002796572945230.002891478946240.002991478940240.002594771946240.002694771946240.0035922140919430.0035923123873360.003591793933230.003591793933230.003591793933240.003891793933230.002888596881230.002888596881230.002898570923230.002898570923230.002898570923230.002898570923230.002898570923230.00289857092323<   | 0.1516     0.002       0.1557     0.002       0.1557     0.002       0.1507     0.002       0.1507     0.002       0.1554     0.002       0.1554     0.002       0.1554     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1565     0.002       0.1564     0.002       0.1560     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002   | ).073     0       ).043     0       ).057     0       ).057     0       ).056     0       ).050     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0  | 1.447<br>1.457<br>1.392<br>1.536<br>1.455<br>1.455<br>1.412<br>1.412<br>1.479<br>1.479<br>1.535<br>1.537<br>1.537<br>1.537<br>1.549<br>1.464<br>(1.549<br>1.464<br>(1.54)   |   | 0.0035<br>0.0026<br>0.0025<br>0.0024<br>0.0023<br>0.0032<br>0.0033<br>0.0023<br>0.0025<br>0.0025  | 0.0693         0.0035           0.0679         0.0020           0.0704         0.0025           0.0699         0.0026           0.0700         0.0022           0.0718         0.0023           0.0718         0.0023           0.0691         0.0023           0.0673         0.0023           0.0671         0.0023           0.0691         0.0023           0.0691         0.0023           0.0691         0.0023           0.0693         0.0023           0.0715         0.0025           0.0713         0.0026           0.0705         0.0027           0.0705         0.0025           0.0705         0.0025           0.0723         0.0038   | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 191         0.60         0.0693         0.0035           551 $0.40$ $0.0679$ $0.020$ 354 $0.40$ $0.0679$ $0.020$ 354 $0.48$ $0.0704$ $0.025$ 281 $0.39$ $0.0699$ $0.0026$ 414 $0.47$ $0.0700$ $0.0024$ 210 $0.47$ $0.0699$ $0.0024$ 340 $0.47$ $0.0673$ $0.0024$ 211 $0.54$ $0.0718$ $0.0023$ 399 $0.47$ $0.0691$ $0.0023$ 395 $0.47$ $0.0631$ $0.0023$ 395 $0.47$ $0.0631$ $0.0023$ 395 $0.47$ $0.0633$ $0.0023$ 395 $0.47$ $0.0713$ $0.0025$ 516 $0.36$ $0.0706$ $0.0025$ 375 $0.44$ $0.0723$ $0.0038$   | 114         191         0.60         0.0693         0.0035           223         551         0.40         0.0679         0.0020           169         354         0.48         0.0704         0.0025           111         281         0.39         0.0679         0.0026           111         281         0.49         0.0704         0.026           202         414         0.49         0.0700         0.0024           113         211         0.54         0.0703         0.0024           113         211         0.54         0.0703         0.0023           113         211         0.54         0.0691         0.0032           113         211         0.54         0.0718         0.0032           113         211         0.54         0.0163         0.0032           186         395         0.47         0.063         0.0033           186         395         0.46         0.015         0.022           273         605         0.45         0.0715         0.022           283         712         0.36         0.0026         0.025      |
| 0.0023 $866$ $59$ $913$ $18$ $0.0023$ $939$ $71$ $885$ $21$ $0.0026$ $924$ $75$ $945$ $23$ $0.0023$ $929$ $63$ $912$ $19$ $0.0024$ $848$ $71$ $894$ $21$ $0.0025$ $979$ $87$ $912$ $26$ $0.0024$ $901$ $67$ $912$ $26$ $0.0025$ $970$ $877$ $912$ $26$ $0.0026$ $970$ $61$ $944$ $19$ $0.0027$ $965$ $72$ $945$ $23$ $0.0028$ $914$ $78$ $920$ $24$ $0.0029$ $914$ $78$ $920$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $920$ $24$ $0.0035$ $922$ $104$ $916$ $23$ $0.0035$ $917$ $916$ $919$ $24$ $0.0035$ $917$ $913$ $873$ $20$ $0.0036$ $917$ $910$ $910$ $24$ $0.0038$ $885$ $963$ $78$ $940$ $24$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $22$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $22$ $0.0028$ $987$ $933$ $22$ $0.0028$ $887$ $923$ $22$ $0.0028$ $887$ $923$ $22$ $0.0028$ $987$ $923$ $22$ $0.0028$ $987$ $923$ $22$ $0.0028$ $987$ $923$ $22$ $0.0028$  | 0.1557     0.002       0.1435     0.002       0.1595     0.002       0.1507     0.002       0.1522     0.002       0.1554     0.002       0.1554     0.002       0.1558     0.002       0.1565     0.002       0.1566     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002   | ).043     0       ).050     0       ).057     0       ).056     0       ).050     0       ).051     0       ).053     0       ).056     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0       ).053     0  | 1.457 (<br>1.392 (<br>1.536 (<br>1.455 (<br>1.412 (<br>1.479 (<br>1.479 (<br>1.535 (<br>1.535 (<br>1.535 (<br>1.537 (<br>1.549 (<br>1.549 (   |   | 0.0020<br>0.0025<br>0.0026<br>0.0024<br>0.0023<br>0.0023<br>0.0022<br>0.0025<br>0.0025  | 0.0679         0.0020           0.0704         0.0025           0.0699         0.0026           0.0700         0.0022           0.0718         0.0032           0.0718         0.0033           0.0691         0.0023           0.0715         0.0033           0.0673         0.0032           0.0673         0.0033           0.0673         0.0032           0.0673         0.0032           0.0631         0.0023           0.0632         0.0033           0.0715         0.0025           0.0705         0.0026           0.0706         0.0025           0.0706         0.0025           0.0723         0.0038   | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 551         0.40         0.0679         0.0020           354         0.48         0.0704         0.0025           281         0.39         0.0699         0.0026           414         0.49         0.0700         0.0026           340         0.47         0.0699         0.0026           340         0.47         0.0673         0.0024           340         0.47         0.0673         0.0024           399         0.48         0.0691         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0033           395         0.47         0.0631         0.0023           807         0.66         0.0715         0.0023           807         0.66         0.0713         0.0023           516         0.36         0.0713         0.0025           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038 | 223         551         0.40         0.0679         0.0020           169         354         0.48         0.0704         0.0025           111         281         0.39         0.0679         0.0026           202         414         0.49         0.0704         0.0025           161         340         0.47         0.0673         0.0024           113         211         0.54         0.0718         0.0032           190         399         0.48         0.0691         0.0033           186         395         0.48         0.0691         0.0033           186         395         0.47         0.0631         0.0033           186         395         0.47         0.0631         0.0025           186         395         0.47         0.0635         0.0025           186         395         0.45         0.0715         0.0025           273         605         0.36         0.0706         0.0025           258         712         0.36         0.0706         0.0025   |
| 0.002393971885210.002692475945230.002392963912190.002484871894210.002597987912260.002484871894210.002597987912260.002697061944190.002691478950230.002791478950240.002891478950240.002991478950240.002191478950240.003291478950240.003391478950240.003491478910430.0035917913873260.0035917913873260.0038917913873260.003991793933290.0031880123881150.00239179393260.002498570929220.002598570929220.002698570929220.002898570929220.002898570929220.002898570929220.00289857092922<   | 1,1435     0.002       1,1595     0.002       1,1507     0.002       1,1522     0.002       1,1524     0.002       1,1541     0.002       1,1543     0.002       1,1543     0.002       1,1558     0.002       1,1565     0.002       1,1564     0.002       1,1563     0.002       1,1564     0.002       1,1564     0.002       1,1564     0.002       1,1564     0.002       1,1564     0.002       1,1564     0.002  | 1.050     0       1.057     0       1.057     0       1.050     0       1.051     0       1.050     0       1.051     0       1.054     0       1.054     0       1.056     0       1.056     0       1.053     0  | 1.392       (1.392         1.536       (1.455         1.412       (1.412         1.455       (1.479         1.479       (1.337         1.535       (1.535         1.537       (1.549         1.549       (1.464   |   | 0.0025<br>0.0026<br>0.0024<br>0.0032<br>0.0033<br>0.0023<br>0.0026<br>0.0026<br>0.0025  | 0.0704         0.0025           0.0699         0.0026           0.0700         0.0022           0.0673         0.0023           0.06718         0.0032           0.0691         0.0032           0.0715         0.0033           0.0715         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0723         0.0026           0.0723         0.0027  | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 354         0.48         0.0704         0.0025           281         0.39         0.0699         0.0026           414         0.49         0.0700         0.0022           340         0.47         0.0673         0.0024           211         0.54         0.0718         0.0023           399         0.448         0.0671         0.0023           395         0.447         0.0631         0.0023           395         0.47         0.0631         0.0023           305         0.47         0.0631         0.0023           315         0.47         0.0633         0.0023           375         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           375         0.44         0.0723         0.0026  | 169         354         0.48         0.0704         0.0025           111         281         0.39         0.0699         0.0026           202         414         0.49         0.0700         0.0022           161         340         0.47         0.0673         0.0024           113         211         0.54         0.0718         0.0023           113         211         0.54         0.0691         0.0032           190         399         0.48         0.0691         0.0033           186         395         0.47         0.0631         0.0033           186         395         0.47         0.0631         0.0033           186         395         0.47         0.0633         0.0033           186         395         0.47         0.0633         0.0025           273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0706         0.0025           273         0.36         0.0706         0.0025         0.0025  |
| 0.0026 $924$ $75$ $945$ $23$ $0.0023$ $929$ $63$ $912$ $19$ $0.0024$ $848$ $71$ $894$ $21$ $0.0025$ $979$ $87$ $912$ $26$ $0.0026$ $970$ $67$ $922$ $20$ $0.0024$ $970$ $67$ $922$ $20$ $0.0026$ $970$ $61$ $944$ $19$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $947$ $71$ $946$ $23$ $0.0025$ $947$ $71$ $946$ $24$ $0.0026$ $947$ $78$ $940$ $24$ $0.0025$ $922$ $104$ $973$ $36$ $0.0035$ $922$ $140$ $919$ $43$ $0.0035$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0035$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0035$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0035$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $26$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $22$ $0.0028$ $887$ $933$ $293$ $0.0028$ $887$ $929$ $22$ $0.0028$ $963$ $70$ $929$ $0.0028$ $987$ $936$ $22$ $0.0028$ $987$ $936$ $22$ $0.0028$ $987$ $936$ $22$ $0.0028$ $987$ $929$ $22$ $0.0028$ $987$ $929$ <   | 0.1595     0.002       0.1507     0.002       0.1522     0.002       0.1554     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1565     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002   | ).057     0       ).046     0       ).050     0       ).051     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).056     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0  | 1.536       (         1.455       (         1.455       (         1.412       (         1.455       (         1.455       (         1.455       (         1.455       (         1.455       (         1.455       (         1.537       (         1.537       (         1.549       (         1.464       (                               |   | 0.0026<br>0.0022<br>0.0024<br>0.0032<br>0.0033<br>0.0023<br>0.0026<br>0.0026<br>0.0025  | 0.0699 0.0026<br>0.0700 0.0022<br>0.0673 0.0024<br>0.0691 0.0023<br>0.063 0.0023<br>0.0715 0.0022<br>0.0713 0.0026<br>0.0713 0.0026<br>0.0713 0.0026<br>0.0723 0.0025   | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 281         0.39         0.0699         0.026           414         0.49         0.0700         0.0022           340         0.47         0.0673         0.0024           211         0.54         0.0718         0.0024           399         0.48         0.0671         0.0023           395         0.48         0.0691         0.0023           395         0.47         0.0633         0.0023           807         0.66         0.0715         0.0023           605         0.47         0.0633         0.0026           516         0.36         0.0713         0.0026           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0033   | 111281 $0.39$ $0.0699$ $0.026$ 202414 $0.49$ $0.0700$ $0.0026$ 161340 $0.47$ $0.0673$ $0.0024$ 113211 $0.54$ $0.0718$ $0.0032$ 190399 $0.48$ $0.0691$ $0.0023$ 186395 $0.47$ $0.063$ $0.0023$ 186395 $0.47$ $0.063$ $0.0023$ 186395 $0.47$ $0.063$ $0.0023$ 185516 $0.36$ $0.0713$ $0.0026$ 273605 $0.36$ $0.0706$ $0.0025$ 28712 $0.36$ $0.0706$ $0.0025$  |
| 0.002392963912190.002484871894210.002597987912260.002597087912260.002490167922200.002597061944190.002697061944190.002796572945230.002894771916230.0032995104952320.0035925104919430.0035922146919430.0035923123873260.0035917913873260.003891793933230.003891793933260.003891793933260.002894378940240.002898570929230.002898570929230.002898570929230.002898570929230.002898570929240.002898570929230.0028980880861230.002898570929230.0028980880861230.0028980880880240.002898088088024 <td>1,1507     0.002       1,1522     0.002       1,1524     0.002       1,1554     0.002       1,1558     0.002       1,1558     0.002       1,1565     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002</td> <td>).046     0       ).050     0       ).051     0       ).053     0       ).054     0       ).055     0       ).056     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0       ).053     0</td> <td>1.455       (         1.412       (         1.412       (         1.455       (         1.455       (         1.479       (         1.337       (         1.535       (         1.537       (         1.549       (         1.464       (</td> <td></td> <td>0.0022<br/>0.0024<br/>0.0032<br/>0.0033<br/>0.0025<br/>0.0026<br/>0.0025</td> <td><math display="block">\begin{array}{ccccccc} 0.0700 &amp; 0.0022 \\ 0.0673 &amp; 0.0024 \\ 0.0718 &amp; 0.0032 \\ 0.0691 &amp; 0.0033 \\ 0.0715 &amp; 0.0026 \\ 0.0713 &amp; 0.0026 \\ 0.0713 &amp; 0.0026 \\ 0.0713 &amp; 0.0026 \\ 0.0723 &amp; 0.0038 \\ 0.0723 &amp; 0.0038 \end{array}</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc</math></td> <td>414         0.49         0.0700         0.0022           340         0.47         0.0673         0.0024           211         0.54         0.0718         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0033           395         0.47         0.0691         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0026           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           712         0.36         0.0695         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0026</td> <td>202     414     0.49     0.0700     0.0022       161     340     0.47     0.0673     0.0024       113     211     0.54     0.0691     0.0032       190     399     0.48     0.0691     0.0023       186     395     0.47     0.063     0.0033       186     395     0.47     0.063     0.0033       234     807     0.66     0.0715     0.0022       273     605     0.45     0.0713     0.0022       258     712     0.36     0.0706     0.0025       258     712     0.36     0.0706     0.0025</td> | 1,1507     0.002       1,1522     0.002       1,1524     0.002       1,1554     0.002       1,1558     0.002       1,1558     0.002       1,1565     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002       1,1504     0.002   | ).046     0       ).050     0       ).051     0       ).053     0       ).054     0       ).055     0       ).056     0       ).051     0       ).056     0       ).051     0       ).053     0  | 1.455       (         1.412       (         1.412       (         1.455       (         1.455       (         1.479       (         1.337       (         1.535       (         1.537       (         1.549       (         1.464       (   |   | 0.0022<br>0.0024<br>0.0032<br>0.0033<br>0.0025<br>0.0026<br>0.0025  | $\begin{array}{ccccccc} 0.0700 & 0.0022 \\ 0.0673 & 0.0024 \\ 0.0718 & 0.0032 \\ 0.0691 & 0.0033 \\ 0.0715 & 0.0026 \\ 0.0713 & 0.0026 \\ 0.0713 & 0.0026 \\ 0.0713 & 0.0026 \\ 0.0723 & 0.0038 \\ 0.0723 & 0.0038 \end{array}$   | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 414         0.49         0.0700         0.0022           340         0.47         0.0673         0.0024           211         0.54         0.0718         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0033           395         0.47         0.0691         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0026           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           712         0.36         0.0695         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0026  | 202     414     0.49     0.0700     0.0022       161     340     0.47     0.0673     0.0024       113     211     0.54     0.0691     0.0032       190     399     0.48     0.0691     0.0023       186     395     0.47     0.063     0.0033       186     395     0.47     0.063     0.0033       234     807     0.66     0.0715     0.0022       273     605     0.45     0.0713     0.0022       258     712     0.36     0.0706     0.0025       258     712     0.36     0.0706     0.0025   |
| 0.0024 $848$ $71$ $894$ $21$ $0.0025$ $979$ $87$ $912$ $26$ $0.0024$ $901$ $67$ $922$ $20$ $0.0026$ $970$ $61$ $944$ $19$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0035$ $922$ $140$ $919$ $43$ $0.0035$ $917$ $916$ $919$ $43$ $0.0035$ $917$ $910$ $913$ $26$ $0.0036$ $917$ $910$ $913$ $24$ $0.0038$ $917$ $933$ $293$ $29$ $0.0038$ $917$ $933$ $293$ $26$ $0.0028$ $917$ $913$ $913$ $26$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $26$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $26$ $0.0028$ $887$ $923$ $861$ $26$ $0.0028$ $987$ $881$ $22$ $0.0028$ $985$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $985$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $980$ $880$ $261$ $26$ $0.0028$ $980$ $880$ $22$ $0.0028$ $920$ $881$   | 0.1522     0.002       0.1471     0.002       0.1554     0.002       0.1541     0.002       0.1558     0.002       0.1565     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002  | 1.050     0       1.051     0       1.052     0       1.051     0       1.055     0       1.056     0       1.051     0       1.053     0  | 1.412 (<br>1.455 (<br>1.455 (<br>1.479 (<br>1.337 (<br>1.535 (<br>1.535 (<br>1.537 (<br>1.549 (<br>1.549 (<br>1.464 (   |   | 0.0024<br>0.0032<br>0.0023<br>0.0023<br>0.0026<br>0.0026<br>0.0027  | 0.0673         0.0024           0.0718         0.0032           0.0691         0.0023           0.0633         0.0023           0.0715         0.0022           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0713         0.0026           0.0723         0.0025   | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$   | 340         0.47         0.0673         0.0024           211         0.54         0.0718         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0023           395         0.47         0.0632         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           372         0.44         0.0723         0.0026  | 161         340         0.47         0.0673         0.0024           113         211         0.54         0.0718         0.0032           190         399         0.48         0.0691         0.0023           186         395         0.47         0.0631         0.0023           186         395         0.47         0.0631         0.0023           234         807         0.66         0.0715         0.0022           273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0713         0.0027           258         712         0.36         0.0706         0.0027  |
| 0.002597987912260.002490167922260.0029708108862310.002797061944190.002795572945230.002391478950240.002494771916240.002594771916240.002694771916230.0035922104952320.0035922140919430.0035923123873360.003591793873360.003891793933290.002888596881280.002888596881150.002888570929220.0028758103861150.0028758103861230.0028758103861230.0028758103861230.0028758103861240.002875886170230.002875886170230.002875886173230.002875886173240.002875886173240.002889088023230.00287588617570 <td>0.1471     0.002       0.1554     0.002       0.1541     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1564     0.002       0.1504     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002</td> <td>).063     0       ).050     0       ).051     0       ).056     0       ).056     0       ).051     0       ).053     0</td> <td>1.455 (<br/>1.479 (<br/>1.337 (<br/>1.535 (<br/>1.537 (<br/>1.537 (<br/>1.549 (<br/>1.464 (</td> <td></td> <td>0.0032<br/>0.0023<br/>0.0033<br/>0.0022<br/>0.0025<br/>0.0027</td> <td>0.0718 0.0032<br/>0.0691 0.0023<br/>0.063 0.0033<br/>0.0715 0.0022<br/>0.0713 0.0026<br/>0.0713 0.0026<br/>0.0723 0.0025<br/>0.0723 0.0038</td> <td>0.54         0.0718         0.0032           0.48         0.0691         0.0023           0.47         0.063         0.0033           0.45         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0703         0.0026           0.36         0.0703         0.0027           0.44         0.0723         0.0038</td> <td>211         0.54         0.0718         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0023           395         0.47         0.063         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           712         0.36         0.0695         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0035</td> <td>113     211     0.54     0.0718     0.0032       190     399     0.48     0.0691     0.0023       186     395     0.47     0.063     0.0033       534     807     0.666     0.0715     0.0022       273     605     0.45     0.0713     0.0026       185     516     0.36     0.0703     0.0025       258     712     0.36     0.0706     0.0025</td>  | 0.1471     0.002       0.1554     0.002       0.1541     0.002       0.1558     0.002       0.1558     0.002       0.1564     0.002       0.1504     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002       0.1564     0.002  | ).063     0       ).050     0       ).051     0       ).056     0       ).056     0       ).051     0       ).053     0  | 1.455 (<br>1.479 (<br>1.337 (<br>1.535 (<br>1.537 (<br>1.537 (<br>1.549 (<br>1.464 (  |   | 0.0032<br>0.0023<br>0.0033<br>0.0022<br>0.0025<br>0.0027  | 0.0718 0.0032<br>0.0691 0.0023<br>0.063 0.0033<br>0.0715 0.0022<br>0.0713 0.0026<br>0.0713 0.0026<br>0.0723 0.0025<br>0.0723 0.0038   | 0.54         0.0718         0.0032           0.48         0.0691         0.0023           0.47         0.063         0.0033           0.45         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0703         0.0026           0.36         0.0703         0.0027           0.44         0.0723         0.0038 | 211         0.54         0.0718         0.0032           399         0.48         0.0691         0.0023           395         0.47         0.063         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0026           712         0.36         0.0695         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0035   | 113     211     0.54     0.0718     0.0032       190     399     0.48     0.0691     0.0023       186     395     0.47     0.063     0.0033       534     807     0.666     0.0715     0.0022       273     605     0.45     0.0713     0.0026       185     516     0.36     0.0703     0.0025       258     712     0.36     0.0706     0.0025  |
| 0.0024         901         67         922         20           0.0029         708         108         862         31           0.0026         970         61         944         19           0.0027         965         72         945         23           0.0028         914         78         945         23           0.0029         914         78         950         24           0.0021         947         71         916         23           0.0032         947         71         916         24           0.0033         922         104         952         32           0.0035         923         123         873         36           0.0031         880         123         873         36           0.0033         917         93         36         36           0.0034         880         123         873         36           0.0035         917         93         36         36           0.0028         885         940         24         36           0.0023         887         940         24         36           0.0024  | 1.1554         0.002           1.1541         0.002           1.1558         0.002           1.1565         0.002           1.1516         0.002           1.1504         0.002           0.1564         0.002           0.1564         0.002  | 0.050         0           0.070         0           0.048         0           0.056         0           0.061         0           0.053         0  | 1.479     (       1.337     (       1.535     (       1.537     (       1.549     (       1.464     (   |   | 0.0023<br>0.0033<br>0.0022<br>0.0026<br>0.0027<br>0.0025  | 0.0691         0.0023           0.063         0.0033           0.0715         0.0022           0.0713         0.0026           0.0695         0.0025           0.0706         0.0025           0.0723         0.0038  | 0.48         0.0691         0.0023           0.47         0.063         0.0033           0.66         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0705         0.0025           0.36         0.0705         0.0025           0.44         0.0723         0.0038   | 399         0.48         0.0691         0.0023           395         0.47         0.063         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038  | 190         399         0.48         0.0691         0.0023           186         395         0.47         0.063         0.0033           534         807         0.66         0.0715         0.0022           273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0695         0.0026           258         712         0.36         0.0706         0.0025  |
| 0.0029         708         108         862         31           0.0026         970         61         944         19           0.0027         965         72         945         23           0.0029         914         78         950         24           0.0026         914         78         950         24           0.0026         914         78         950         24           0.0032         995         104         916         23           0.0035         922         140         919         43           0.0035         922         140         919         43           0.0035         917         93         873         36           0.0035         917         93         873         36           0.0038         963         78         940         24           0.0028         963         70         933         26           0.0023         887         961         28         36           0.0023         887         93         27         26           0.0024         985         70         929         27           0.0028  | ).1541 0.002<br>).1558 0.002<br>).1565 0.002<br>).1616 0.002<br>).1504 0.002<br>).1504 0.002   | 0.070 0<br>0.048 0<br>0.056 0<br>0.061 0   | 1.337 (<br>1.535 (<br>1.537 (<br>1.549 (<br>1.464 (   |   | 0.0033<br>0.0022<br>0.0026<br>0.0027<br>0.0025  | 0.063         0.0033           0.0715         0.0022           0.0713         0.0026           0.07065         0.0027           0.0706         0.0027           0.0723         0.0038   | 0.47         0.063         0.0033           0.66         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.36         0.0723         0.0038   | 395         0.47         0.063         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038   | 186     395     0.47     0.063     0.0033       534     807     0.66     0.0715     0.0022       273     605     0.45     0.0713     0.0026       185     516     0.36     0.0695     0.0027       258     712     0.36     0.0706     0.025  |
| 0.0029         708         108         862         31           0.0026         970         61         944         19           0.0027         965         72         945         23           0.0029         914         78         950         24           0.0021         947         71         916         23           0.0023         947         71         916         23           0.0032         947         71         916         24           0.0033         947         71         916         24           0.0034         1060         146         1004         48           0.0035         922         140         919         43           0.0031         880         123         873         36           0.0033         917         93         36         36           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         88         36           0.0028         885         96         88         26           0.0028         985         70         929         27           0.0028  | 1.1541         0.002           1.1558         0.002           1.1565         0.002           1.1566         0.002           1.1504         0.002           0.1564         0.002           0.1564         0.002   | 0.070     0       0.048     0       0.056     0       0.061     0       0.053     0  | 1.337       (         1.535       (         1.537       (         1.549       (         1.464       (   |   | 0.0033<br>0.0022<br>0.0026<br>0.0027<br>0.0025  | 0.063 0.0033<br>0.0715 0.0022<br>0.0713 0.0026<br>0.0695 0.0027<br>0.0706 0.0025  | 0.47         0.063         0.0033           0.66         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.36         0.0705         0.0025           0.36         0.0706         0.0025  | 395         0.47         0.063         0.0033           807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038   | 186         395         0.47         0.063         0.0033           534         807         0.66         0.0715         0.0022           273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0695         0.0027           258         712         0.36         0.0695         0.0025   |
| 0.0026 $970$ $61$ $944$ $19$ $0.0027$ $965$ $72$ $945$ $23$ $0.0029$ $914$ $78$ $950$ $24$ $0.0026$ $947$ $71$ $916$ $22$ $0.0032$ $995$ $104$ $952$ $32$ $0.0035$ $922$ $146$ $1004$ $48$ $0.0035$ $922$ $140$ $919$ $43$ $0.0031$ $880$ $123$ $873$ $36$ $0.0031$ $917$ $93$ $36$ $36$ $0.0032$ $917$ $93$ $36$ $36$ $0.0033$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0028$ $963$ $78$ $940$ $24$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $36$ $0.0028$ $897$ $881$ $881$ $361$ $0.0028$ $890$ $881$ $880$ $22$ $0.0028$ $890$ $881$ $881$ $22$  | 0.1558         0.002           0.1565         0.002           0.1616         0.002           0.1504         0.002           0.156         0.002  | 0.048     0       0.056     0       0.061     0       0.053     0  | 1.535       (         1.537       (         1.549       (         1.464       (   |   | 0.0022<br>0.0026<br>0.0027<br>0.0025  | 0.0715         0.0022           0.0713         0.0026           0.0695         0.0027           0.0706         0.0025           0.0723         0.0038   | 0.66         0.0715         0.0022           0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.44         0.0723         0.0038   | 807         0.66         0.0715         0.0022           605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038   | 534         807         0.66         0.0715         0.0022           273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0695         0.0027           258         712         0.36         0.0706         0.0025   |
| 0.0027         965         72         945         23           0.0029         914         78         950         24           0.0026         947         71         916         23           0.0025         947         71         916         23           0.0035         995         104         952         32           0.0035         922         140         919         43           0.0035         922         140         919         43           0.0035         922         140         919         43           0.0035         917         93         83         36           0.0038         917         93         78         940         24           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         15           0.0026         985         70         929         24           0.0028         758         103         861         15           0.0028         758         103         861         26           0.0028         758         880         26         22 <t< td=""><td>0.1565     0.002       0.1616     0.002       0.1504     0.002       0.156     0.002</td><td>0.056         0           0.061         0           0.053         0</td><td><math display="block">   \begin{array}{c}     1.537 \\     1.549 \\     1.464 \\   \end{array} </math></td><td></td><td>0.0026<br/>0.0027<br/>0.0025</td><td>0.0713 0.0026<br/>0.0695 0.0027<br/>0.0706 0.0025<br/>0.0723 0.0038</td><td>0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.44         0.0723         0.0038</td><td>605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038</td><td>273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0695         0.0027           258         712         0.36         0.0706         0.0025</td></t<>   | 0.1565     0.002       0.1616     0.002       0.1504     0.002       0.156     0.002   | 0.056         0           0.061         0           0.053         0  | $   \begin{array}{c}     1.537 \\     1.549 \\     1.464 \\   \end{array} $   |   | 0.0026<br>0.0027<br>0.0025  | 0.0713 0.0026<br>0.0695 0.0027<br>0.0706 0.0025<br>0.0723 0.0038  | 0.45         0.0713         0.0026           0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.44         0.0723         0.0038  | 605         0.45         0.0713         0.0026           516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038  | 273         605         0.45         0.0713         0.0026           185         516         0.36         0.0695         0.0027           258         712         0.36         0.0706         0.0025  |
| 0.0029         914         78         950         24           0.0026         947         71         916         22           0.0032         995         104         952         32           0.0034         1060         146         952         32           0.0035         922         140         919         48           0.0031         880         123         873         36           0.0033         917         93         933         36           0.0034         917         93         933         36           0.0028         963         78         940         24           0.0023         963         78         940         24           0.0023         885         96         881         26           0.0023         887         96         881         26           0.0024         985         70         929         27           0.0028         758         103         861         26           0.0028         758         103         861         26           0.0028         758         880         26         27           0.0028  | 0.1616         0.002           0.1504         0.002           0.156         0.003  | 0.061 0.<br>0.053 0.   | 1.549 (<br>1.464 (  |   | 0.0027<br>0.0025  | 0.0695 0.0027<br>0.0706 0.0025<br>0.0723 0.0038   | 0.36         0.0695         0.0027           0.36         0.0706         0.0025           0.44         0.0723         0.0038   | 516         0.36         0.0695         0.0027           712         0.36         0.0706         0.0025           375         0.44         0.0723         0.0038   | 185         516         0.36         0.0695         0.0027           258         712         0.36         0.0706         0.0025   |
| 0.0026 $947$ $71$ $916$ $22$ $0.0032$ $995$ $104$ $952$ $32$ $0.0035$ $922$ $146$ $1004$ $48$ $0.0031$ $880$ $123$ $873$ $36$ $0.0031$ $880$ $123$ $873$ $36$ $0.0032$ $917$ $93$ $933$ $29$ $0.0028$ $963$ $78$ $940$ $24$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $26$ $0.0026$ $887$ $76$ $881$ $26$ $0.0026$ $985$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $758$ $103$ $861$ $22$ $0.0028$ $897$ $803$ $861$ $22$ $0.0028$ $895$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $895$ $803$ $861$ $22$ $0.0028$ $895$ $880$ $880$ $22$  | ).1504 0.002<br>0.156 0.003  | 0.053 0.   | 1.464 (   |   | 0.0025  | 0.0706         0.0025           0.0723         0.0038   | 0.36 0.0706 0.0025<br>0.44 0.0723 0.0038   | 712 0.36 0.0706 0.0025<br>375 0.44 0.0723 0.0038   | 258 712 0.36 0.0706 0.0025  |
| 0.0032         995         104         952         32           0.004         1060         146         1004         48           0.0035         922         140         919         48           0.0035         922         140         919         43           0.0035         922         140         919         43           0.0031         880         123         873         36           0.0038         917         93         93         29           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         15           0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         23           0.0028         758         103         861         24           0.0023         890         880         860         23   | 0.156 0.002  |  |   |   | 0,000,0   | 0.0723 0.0038   | 0.44 0.0723 0.0038   | 375 0.44 0.0723 0.0038   |   |
| 0.004 $1060$ $146$ $1004$ $48$ $0.0035$ $922$ $140$ $919$ $43$ $0.0031$ $880$ $123$ $873$ $36$ $0.0032$ $917$ $93$ $933$ $36$ $0.0028$ $963$ $78$ $940$ $24$ $0.0028$ $885$ $96$ $881$ $28$ $0.0028$ $897$ $47$ $881$ $15$ $0.0026$ $985$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $758$ $103$ $861$ $29$ $0.0028$ $897$ $803$ $861$ $29$ $0.0028$ $895$ $70$ $929$ $22$ $0.0028$ $895$ $803$ $861$ $29$ $0.0028$ $895$ $890$ $880$ $22$ $0.0028$ $890$ $880$ $880$ $20$   |  | 0.082 0  | 1.555 (   |   | 0.0038  |   |  |  | 166 5/5 0.44 0.0/23 0.0038  |
| 0.0035         922         140         919         43           0.0031         880         123         873         36           0.0031         917         93         919         43           0.0032         917         93         933         29           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         24           0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         22           0.0028         758         103         861         23           0.0028         758         103         861         23           0.0027         890         88         800         26   | ).1639 0.00  | 0.126 0.   | 1.687 (   |   | 0.0057  | 0.0747 0.0057   | 0.42 0.0747 0.0057   | 175 0.42 0.0747 0.0057   | 73 175 0.42 0.0747 0.0057   |
| 0.0031         880         123         873         36           0.003         917         93         94         29           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         23           0.0028         885         96         881         28           0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         23           0.0028         758         103         861         29           0.0028         890         880         23         29   | 0.003).1531  | 0.104 0.   | 1.472 (   |   | 0.005   | 0.0698 0.005  | 0.57 0.0698 0.005  | 218 0.57 0.0698 0.005  | 123 218 0.57 0.0698 0.005   |
| 0.003         917         93         933         29           0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         24           0.0028         885         96         881         28           0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         22           0.0028         758         103         861         29           0.0027         890         88         860         26  | 0.003 0.003  | 0.083 0.   | 1.363 (   |   | 0.0042  | 0.0684 $0.0042$   | 0.48 	0.0684 	0.0042   | 319 0.48 0.0684 0.0042   | 154 319 0.48 0.0684 0.0042  |
| 0.0028         963         78         940         24           0.0028         885         96         881         28           0.0023         897         47         881         28           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         23           0.0028         758         803         861         23           0.0027         890         88         803         23   | 0.157 0.00.  | 0.070 0  | 1.506 (   |   | 0.0033  | 0.0696 $0.0033$   | 0.49 	0.0696 	0.0033   | 418 0.49 0.0696 0.0033   | 207 418 0.49 0.0696 0.0033  |
| 0.0028         885         96         881         28           0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         29           0.0027         890         88         880         26  | ).1553 0.002   | 0.060 0.   | 1.524 (   |   | 0.0028  | 0.0712 0.0028   | 0.3 $0.0712$ $0.0028$  | 543 0.3 0.712 0.028  | 163 543 0.3 0.0712 0.0028   |
| 0.0023         897         47         881         15           0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         29           0.0027         890         88         880         26   | ).1462 0.002   | 0.066 0.   | 1.382 (   |   | 0.0033  | 0.0686 $0.0033$   | 0.49 0.0686 0.0033   | 272 0.49 0.0686 0.0033   | 134 272 0.49 0.0686 0.0033  |
| 0.0026         985         70         929         22           0.0028         758         103         861         29           0.0027         890         88         880         26  | ).1454 0.002   | 0.035 0.   | 1.382 (   |   | 0.0016  | 0.0689 $0.0016$   | 0.45 0.0689 0.0016   | 1216 0.45 0.0689 0.0016  | 544 1216 0.45 0.0689 0.0016   |
| 0.0028         758         103         861         29           0.0027         890         88         880         26   | 0.002 0.002  | 0.053 0.   | 1.496 (   |   | 0.0025  | 0.072 $0.0025$  | 0.46 0.072 0.0025  | 493 0.46 0.072 0.0025  | 229 493 0.46 0.072 0.0025   |
| 0.0027 890 88 880 26   | 0.002 0.002  | 0.067 0.   | 1.335 (   |   | 0.0033  | 0.0645 $0.0033$   | 0.46 	0.0645 	0.0033   | 332 0.46 0.0645 0.0033   | 154 332 0.46 0.0645 0.0033  |
|  | 0.002 0.002  | 0.061 0.   | 1.380 (   |   | 0.003   | 0.0687 $0.003$  | 0.27 0.0687 0.003  | 379 0.27 0.0687 0.003  | 102 379 0.27 0.0687 0.003   |
| 0.0025 909 65 888 19   | 0.002 0.002  | 0.046 0.   | 1.397 (   |   | 0.0022  | 0.0694 $0.0022$   | 0.29 $0.0694$ $0.0022$   | 717 0.29 0.0694 0.0022   | 212 717 0.29 0.0694 0.0022  |
| 0.0031 960 102 934 31  | 0.003 0.003  | 0.077 0.   | 1.508 (   |   | 0.0037  | 0.0711 0.0037   | 0.47 $0.0711$ $0.0037$   | 250 0.47 0.0711 0.0037   | 118 250 0.47 0.0711 0.0037  |
| 0.0028 937 88 922 27   | 0.002  | 0.065 0.   | 1.480 (   | - I   | 0.0031  | 0.0703 0.0031   | 0.45 $0.0703$ $0.0031$   | 336 0.45 0.0703 0.0031   | 151 336 0.45 0.0703 0.0031  |

2020年

PM16-18-TW2:岩性为片麻状花岗岩,锆石晶 形较完好,存在颗粒破碎的锆石晶体,多为长柱状, 长宽比介于1:1~3:1之间,呈浑圆状,根据锆石 晶体阴极发光图,锆石由核、边结构组成,核、边均 发育岩浆成因的韵律环带,环带清晰,应为岩浆锆 石(图4)。本次在该样品中选取20个点进行年龄 测试,测试结果见表1,Th含量为73×10<sup>-6</sup>~544× 10<sup>-6</sup>,U为175×10<sup>-6</sup>~1216×10<sup>-6</sup>,Th/U值为0.27~ 0.66,应为岩浆锆石。由锆石年龄谐和图(图5)可 知,其<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U年龄集中在871~978 Ma之间, <sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U年龄集中在871~978 Ma之间, 代表了片麻状花岗岩形成年龄。

PM16-2-TW1:岩性为片麻状花岗岩,锆石晶 形较完好,存在颗粒破碎的锆石晶体,多为长柱状, 长宽比介于1:5~3:1之间,呈浑圆状,根据锆石 晶体阴极发光图,锆石由核、边结构组成,核、边均 发育岩浆成因的韵律环带,环带清晰,应为岩浆锆 石(图4)。本次在该样品中选取了19个点进行年龄 测试,测试结果见表1,Th含量为78×10<sup>-6</sup>~1387× 10<sup>-6</sup>,U为351×10<sup>-6</sup>~3233×10<sup>-6</sup>,Th/U值为0.10~ 1.35,应为岩浆锆石。锆石<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 年龄集中在 851~995 Ma 之间(图 5),<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 年龄加权平均 值为 920±19 Ma(*n*=19),代表了片麻状花岗岩形成 年龄。

PM18-61-TW1:岩性为片麻状花岗岩,锆 石晶形较完好,存在颗粒破碎的锆石晶体,多为 短柱状,长宽比介于1:1~2.5:1之间,呈浑圆 状,根据锆石晶体阴极发光图,锆石由核、边结构 组成,核、边均发育岩浆成因的韵律环带,环带清 晰,应为岩浆锆石(图4)。本次在该样品中选取 25个点进行年龄测试,测试结果见表1,Th的变 化范围为209×10<sup>-6</sup>~2128×10<sup>-6</sup>,U的变化范围为 1040×10<sup>-6</sup>~4386×10<sup>-6</sup>,Th/U值为0.17~0.69,应 为岩浆锆石。锆石<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U年龄集中在898~ 1000 Ma之间(图5),<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值 为950±13 Ma(n=25),代表了片麻状花岗岩形成 年龄。

PM11-30-TW1:岩性为片麻状花岗岩,锆石晶 形较完好,存在颗粒破碎的锆石晶体,多为短柱状, 长宽比为1:1~3:1,呈浑圆状,根据锆石晶体阴极



图 4 锆石阴极发光(CL)图像、U-Pb 年龄分析点(实线圈)及 Lu-Hf 同位素分析点(虚线圈)和<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄 Fig. 4 CL images, analytical points for U-Pb(solid circles), analytical points for Lu-Hf isotope(dashed circles) and <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of zircons



图 5 花岗岩锆石 U-Pb 谐和图和<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U 年龄加权平均值图 Fig. 5 U-Pb concordia diagrams and weighted average <sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U ages of zircons for the granitic gneiss

发光图,锆石由核、边结构组成,核、边均发育岩浆 成因的韵律环带,环带清晰,应为岩浆锆石(图4)。 本次在该样品中选取了 19 个点进行年龄测试,测试 结果见表 1。Th 含量为 97×10<sup>-6</sup>~380×10<sup>-6</sup>,U 含量 为 181×10<sup>-6</sup>~1179×10<sup>-6</sup>,Th/U 值为0.27~0.67,应 为岩浆锆石。由锆石年龄谐和图(图 5)可知,其 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄集中在 858~954 Ma 之间,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄加权平均值为 906±14 Ma(*n*=19),代表了片麻 状花岗岩形成年龄。

综上所述,4件样品的锆石 Th/U 值为 0.10~ 1.35,大于 0.1(仅 1 个为 0.10),表明锆石为岩浆成 因。呈棱柱状自形晶,晶形较大,大多大于 100 μm, 发育明显的振荡环带(图 4)。对每件样品测试了 19~25 个点,年龄值一致,大多集中在 910~950 Ma,与前人的研究结果一致(表 1)。极少量继承锆 石的年龄大于 1000 Ma。因此,910~950 Ma 能代表 该类花岗岩的形成时代(图 5)。

## 4 元素地球化学

#### 4.1 **主量和微量元素**

本次在研究区 4 个岩体的不同部位分别采集了 16 件样品进行岩石地球化学分析,分析结果见表 2、 表 3、表 4。

#### (1) 主量元素

从分析结果看,16件样品的主量元素具有高硅 (≥70%)、富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O,6.5%~8.9%)且K<sub>2</sub>O> Na<sub>2</sub>O的特征,在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O岩石系列判别图解中, 绝大多数样品均落在高钾钙碱性和钾玄岩系列,仅 1个样品为钙碱性,且样品表现出从钙碱性到钾玄 岩演化的变化趋势(图6)。在铝质判别图中,牙马 特南山一带的片麻状-眼球状花岗岩样品属于准铝 质-过铝质花岗岩,A/CNK 值为0.94~1.08;伊力比 斯提一带的片麻状-眼球状花岗岩则为过铝质花岗 岩,A/CNK 值为1.04~1.15。表明两地的片麻状-





Fig. 6 The  $K_2O$  versus  $SiO_2$  diagram(a) and Shand's index Al/(Na + K) versus Al/(Ca + Na + K) plots(b)

眼球状花岗岩在岩石成因上有一定差别,后者主要 与地壳物质重熔有关,而前者可能有更多火成岩重 熔形成的岩浆参与。

(2)稀土和微量元素

在稀土元素配分曲线中,所有样品的曲线形态相近,整体为右倾,LREE/HREE 值介于 6.2~13.22 之间, $La_N/Yb_N$ 值介于 6.45~19.2 之间。具明显的负 Eu 异常, $\delta Eu$  值介于 0.34~0.59 之间,配分曲线表现出近似"V"型曲线(图 7 $\neg$ a),与碱性花岗岩相似。

在微量元素蛛网图中,16件样品的特征一致, 富集 Rb、Th、U、K 等元素,贫 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素,显示活动大陆边缘岩石特征(图7-b)。

4.2 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学特征

(1)全岩 Sr-Nd 同位素特征

在岩石地球化学分析基础上,本次选择了9件

样品进行全岩 Sr-Nd 同位素示踪,分析结果见表5。

从分析结果看,样品的初始<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值较分散, 其中 2 件样品的初始<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值小于 0.704,主要由 于样品本身具有较高的<sup>87</sup> Rb/<sup>86</sup> Sr 值,导致初始 <sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值存在很大误差而不可信;另有 3 件样品 的初始<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值大于 0.712。Nd 同位素的组成整 体较集中,绝大多数样品的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值均小于 0,仅 1 个样品为 0.01,变化于  $-5.27 \sim 0.01$  之间,平均值为 -2.43,与胡霭琴等<sup>[2]</sup>的测试结果一致。在(<sup>87</sup> Rb/<sup>86</sup> Sr)<sub>i</sub> - $\varepsilon_{Nd}(t)$ 相关图(图 8-a)中,所有样品点的锶钕同位 素呈近水平相关性,即初始<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值很分散,而  $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围较小,具典型壳源花岗岩(S 型花 岗岩)的特征。所有样品的 $f_{Sm/Nd}$ 值介于  $-0.37 \sim -0.42$ 



Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns(a) and multi-element variation diagrams(b)

|              |                |                  |           | ••                    | 表 2   | 币元古代   | 3早期片     | 麻状               | 艮球状花                      | 尚者主              | 量元素      | 아析结身    | mν     |                               |                 |        |                |       |
|--------------|----------------|------------------|-----------|-----------------------|-------|--------|----------|------------------|---------------------------|------------------|----------|---------|--------|-------------------------------|-----------------|--------|----------------|-------|
|              |                |                  |           | Tabl                  | e 2 A | bundan | ces of n | najor el         | ements                    | of Neopı         | roterozo | ic gran | itoids |                               |                 |        |                | %     |
| 样号           | 岩性             | SiO <sub>2</sub> | $Al_2O_3$ | ${\rm Fe}_2{\rm O}_3$ | FeO   | CaO    | MgO      | K <sub>2</sub> O | $\mathrm{Na}_2\mathrm{O}$ | TiO <sub>2</sub> | $P_2O_5$ | MnO     | 尧失量    | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | CO <sub>2</sub> | 息量     | $Na_2 O+K_2 O$ | A/CNK |
| PM11-30-HQ1  |                | 66.18            | 13.26     | 2.11                  | 5.35  | 2.77   | 0.51     | 5.31             | 0                         | 0.79             | 0.19     | 0.12    | 1.21   | 0.54                          | 0.096           | 100.44 | 7.31           | 0.94  |
| PM11-30-HQ2  |                | 69.04            | 12.96     | 2.03                  | 3.75  | 1.98   | 0.44     | 5.43             | 2.19                      | 0.61             | 0.14     | 0.1     | 1.17   | 0.68                          | 0.032           | 100.55 | 7.62           | 0.99  |
| PM11-30-HQ3  |                | 69.53            | 13.27     | 1.28                  | 3.52  | 1.47   | 0.45     | 5.94             | 2.26                      | 0.55             | 0.13     | 0.09    | 1.32   | 0.56                          | 0.033           | 100.4  | 8.2            | 1.03  |
| PM11-30-HQ4  | 片麻状一眼球         | 69.96            | 12.85     | 1.7                   | 3.42  | 1.64   | 0.55     | 5.58             | 2.31                      | 0.6              | 0.13     | 0.08    | 0.99   | 0.58                          | 0.082           | 100.47 | 7.89           | 1.00  |
| PM11-42-HQ1  | 状花岗岩           | 67.87            | 13.99     | 1.25                  | 4.5   | 2.28   | 0.86     | 4.23             | 2.94                      | 0.73             | 0.23     | 0.09    | 0.84   | 0.24                          | 0.012           | 100.06 | 7.17           | 1.03  |
| PM11-42-HQ2  |                | 69.16            | 13.88     | 1.45                  | 3.48  | 2.04   | 0.62     | 4.58             | 2.85                      | 0.54             | 0.18     | 0.08    | 0.95   | 0.44                          | <0.01           | 100.25 | 7.43           | 1.04  |
| PM16-2-HQ1   |                | 73.69            | 12.45     | 1.06                  | 1.74  | 1.64   | 0.62     | 5.06             | 2.21                      | 0.39             | 0.11     | 0.04    | 0.8    | 0.32                          | 0.13            | 100.26 | 7.27           | 1.03  |
| PM16-2-HQ4   |                | 69.55            | 13.32     | 1.66                  | 2.5   | 1.95   | 0.49     | 5.85             | 2.65                      | 0.55             | 0.13     | 0.06    | 1.12   | 0.34                          | 0.362           | 100.53 | 8.5            | 0.94  |
| PM16-11-HQ1  | 糜棱岩化眼          | 70.28            | 14.21     | 1.01                  | 2.08  | 1.86   | 1.04     | 4.07             | 3.41                      | 0.48             | 0.1      | 0.04    | 1.25   | 0.55                          | 0.33            | 100.71 | 7.48           | 1.06  |
| PM16-11-HQ3  | 球状花岗岩          | 70.15            | 14.7      | 0.99                  | 2.65  | 2.19   | 0.71     | 2.75             | 4.02                      | 0.45             | 0.12     | 0.06    | 0.98   | 0.4                           | 0.094           | 100.26 | 6.77           | 1.08  |
| PM16-18-HQ2  |                | 66.13            | 13.5      | 2.01                  | 4.8   | 2.69   | 0.59     | 5.47             | 2.08                      | 0.79             | 0.19     | 0.12    | 1.43   | 0.48                          | 0.407           | 100.69 | 7.55           | 0.95  |
| PM16-101-HQ2 | 片麻状−眼球<br>状花岗岩 | 68.35            | 13.91     | 1.47                  | 3.42  | 1.84   | 1.58     | 3.37             | 3.1                       | 0.69             | 0.17     | 0.07    | 1.83   | <0.01                         | 0.276           | 100.08 | 6.47           | 1.15  |
| PM16-101-HQ3 |                | 67.83            | 14.37     | 1.67                  | 2.92  | 1.85   | 1.39     | 4.94             | 2.45                      | 0.63             | 0.15     | 0.07    | 1.52   | 0.96                          | 0.078           | 100.83 | 7.39           | 1.13  |
| PM18-61-YQ1  |                | 71.35            | 13.74     | 0.8                   | 1.42  | 1.31   | 0.76     | 6.68             | 2.18                      | 0.32             | 0.1      | 0.04    | 1.1    | 0.72                          | 0.081           | 100.6  | 8.86           | 1.04  |
| PM18-61-YQ2  | 糜棱岩化眼<br>球状花岗岩 | 67.5             | 14.36     | 1.83                  | 2.48  | 2.42   | 1.34     | 4.33             | 2.78                      | 0.59             | 0.14     | 0.06    | 1.97   | 1.32                          | 0.033           | 101.15 | 7.11           | 1.05  |
| PM18-61-YQ3  |                | 68.51            | 13.92     | 1.76                  | 2.72  | 1.68   | 1.54     | 3.93             | 2.91                      | 0.62             | 0.14     | 0.06    | 7      | 1.48                          | 0.117           | 101.39 | 6.84           | 1.15  |
|              |                |                  |           |                       |       |        |          |                  |                           |                  |          |         |        |                               |                 |        |                |       |

|                           |                            |      |      |      | 表     | 3 新元  | に古代「   | 早期片     | ₩<br>末<br>上 | <b>艮球状</b> 7 | 枕<br>過<br>光 | 稀土元    | 素分析     | 结果      | !     |      |        |        |       | Ì             |                   |
|---------------------------|----------------------------|------|------|------|-------|-------|--------|---------|-------------|--------------|-------------|--------|---------|---------|-------|------|--------|--------|-------|---------------|-------------------|
|                           |                            |      |      | Ta   | ble 3 | Abund | lances | of rare | earth       | elemer       | nts of N    | eoprot | erozoid | c grani | toids |      |        |        |       | 10            |                   |
| 样号                        | 型                          | La   | Ce   | Pr   | РИ    | Sm    | Eu     | Gd      | τb          | Dy           | Но          | Er     | Tm      | Yb      | Lu    | ¥    | ZREE   | LREE   | HREE  | LREE/<br>HREE | $La_N/$<br>$Yb_N$ |
| PM11-30-HQ1               |                            | 124  | 259  | 29.6 | 113   | 22.5  | 4.27   | 24.3    | 3.88        | 24.2         | Ŋ           | 13.7   | 2.13    | 13.8    | 2.02  | 122  | 641.40 | 552.37 | 89.03 | 6.20          | 6.45              |
| PM11-30-HQ2               |                            | 152  | 319  | 34.9 | 128   | 24.8  | 3.31   | 25.4    | 4.01        | 25.3         | 5.38        | 15.2   | 2.28    | 14.5    | 2.16  | 136  | 756.24 | 662.01 | 94.23 | 7.03          | 7.52              |
| PM11-30-HQ3               |                            | 136  | 274  | 31   | 108   | 20.1  | 3.06   | 20.3    | 3.12        | 19.2         | 4           | 11.5   | 1.71    | 10.8    | 1.7   | 103  | 644.49 | 572.16 | 72.33 | 7.91          | 9.03              |
| PM11-30-HQ4 片麻状           | と一眼球                       | 160  | 321  | 35.2 | 127   | 23.5  | 3.09   | 24.3    | 4.01        | 23.8         | 4.99        | 14.1   | 2.06    | 12.7    | 1.95  | 123  | 757.70 | 669.79 | 87.91 | 7.62          | 9.04              |
| 来花 PM11-42-HQ1            | 過者                         | 92.6 | 194  | 22   | 80.5  | 15.7  | 2.54   | 16.1    | 2.4         | 14.2         | 2.8         | 7.69   | 1.17    | 6.92    | 1.05  | 72.5 | 459.67 | 407.34 | 52.33 | 7.78          | 9.60              |
| PM11-42-HQ2               |                            | 86.4 | 171  | 18.9 | 65.2  | 12.7  | 2.53   | 13.3    | 2.1         | 12.8         | 2.63        | 7.17   | 1.11    | 6.91    | 1.06  | 65   | 403.81 | 356.73 | 47.08 | 7.58          | 8.97              |
| PM16-2-HQ1                |                            | 49.8 | 106  | 11.8 | 43.5  | 8.84  | 1.27   | 8.17    | 1.26        | 7.26         | 1.45        | 4.06   | 0.63    | 4.06    | 0.62  | 37.4 | 248.72 | 221.21 | 27.51 | 8.04          | 8.80              |
| PM16-2-HQ4                |                            | 112  | 206  | 24.2 | 89.2  | 16.2  | 1.81   | 16.5    | 2.66        | 15.9         | 3.3         | 9.36   | 1.45    | 9.31    | 1.38  | 82.8 | 509.27 | 449.41 | 59.86 | 7.51          | 8.63              |
|                           | <b>岩化眼</b>                 | 73.2 | 136  | 15   | 51.2  | 8.89  | 1.07   | 8.12    | 1.25        | 7.28         | 1.48        | 4.28   | 0.63    | 4.28    | 0.62  | 42.2 | 313.30 | 285.36 | 27.94 | 10.21         | 12.27             |
| PM16-11-HQ3 球状 7          | 花岗<br>岩                    | 62.1 | 114  | 12.8 | 44.7  | 7.68  | 0.83   | 6.4     | 0.0         | 4.7          | 0.88        | 2.41   | 0.36    | 2.32    | 0.35  | 25.9 | 260.43 | 242.11 | 18.32 | 13.22         | 19.20             |
| PM16-18-HQ2               |                            | 101  | 209  | 25.1 | 98    | 20    | 3.66   | 19.9    | 3.12        | 18           | 3.6         | 9.87   | 1.52    | 9.86    | 1.52  | 91.6 | 524.15 | 456.76 | 67.39 | 6.78          | 7.35              |
| 户所16-101-HQ2<br>状花        | ℓ-眼球<br>                   | 69.1 | 131  | 15.5 | 55.7  | 9.95  | 1.33   | 9.22    | 1.27        | 7.16         | 1.4         | 4      | 0.62    | 3.96    | 0.61  | 39.9 | 310.82 | 282.58 | 28.24 | 10.01         | 12.52             |
| PM16-101-HQ3              |                            | 51.6 | 101  | 11.7 | 42.6  | 8.23  | 1.16   | 7.6     | 1.15        | 6.81         | 1.36        | 3.78   | 0.58    | 3.71    | 0.57  | 37   | 241.85 | 216.29 | 25.56 | 8.46          | 9.98              |
| PM18-61-YQ1               |                            | 47   | 92.4 | 10.6 | 38.4  | 7.38  | 1.28   | 6.77    | 1.06        | 6.32         | 1.24        | 3.52   | 0.53    | 3.49    | 0.52  | 34.7 | 220.51 | 197.06 | 23.45 | 8.40          | 9.66              |
| 摩棱3<br>PM18-61-YQ2<br>球状7 | 地<br>化<br>思<br>七<br>志<br>志 | 57.8 | 112  | 12.5 | 45.3  | 8.52  | 1.42   | 7.77    | 1.23        | 7.17         | 1.45        | 4.02   | 0.61    | 3.92    | 0.6   | 39.6 | 264.31 | 237.54 | 26.77 | 8.87          | 10.58             |
| PM18-61-YQ3               |                            | 71.3 | 144  | 16.1 | 57.6  | 10.5  | 1.28   | 9.42    | 1.4         | 7.97         | 1.55        | 4.16   | 0.61    | 3.96    | 0.59  | 41.6 | 330.44 | 300.78 | 29.66 | 10.14         | 12.92             |
|                           |                            |      |      |      |       |       |        |         |             |              |             |        |         |         |       |      |        |        |       |               |                   |

188

2020年

|              |                |      |               | 表 4     | 新元古·   | 代早期片       | 麻状-眼Ŧ     | <b>*状花</b> 岗: | 岩微量元          | 素分析结      | 胀       |      |      |      |      |           |                  |
|--------------|----------------|------|---------------|---------|--------|------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------|------|------|------|------|-----------|------------------|
|              |                |      |               | Table 4 | Abunda | ances of t | race elem | ents of N     | eoproterc     | zoic grai | nitoids |      |      |      |      | $10^{-6}$ |                  |
| 样号           | 岩性             | Ъb   | $\mathbf{Cr}$ | ïŻ      | Co     | Rb         | Cs        | Sr            | $\mathrm{Ba}$ | Λ         | ЧN      | Та   | Zr   | Нf   | Ge   | D         | $^{\mathrm{Th}}$ |
| PM11-30-HQ1  |                | 37   | 3.81          | 3.42    | 3.56   | 162        | 2.72      | 153           | 1410          | 15        | 73.2    | 5.02 | 1110 | 27.7 | 1.75 | 3.73      | 28.5             |
| PM11-30-HQ2  |                | 41.2 | 2.73          | 2.07    | 2.7    | 180        | 1.56      | 126           | 1080          | 10.8      | 62.4    | 4.38 | 816  | 21.5 | 1.79 | 4.36      | 43.8             |
| PM11-30-HQ3  |                | 43.5 | 3.45          | 2.25    | 2.95   | 204        | 2.02      | 156           | 1200          | 12        | 53.8    | 3.78 | 771  | 20.3 | 1.5  | 3.72      | 38.2             |
| PM11-30-HQ4  | 片麻状眼球          | 39.6 | 3.4           | 3.3     | 3.13   | 217        | 2.82      | 142           | 1010          | 13.3      | 58.5    | 4.18 | 854  | 22.9 | 1.54 | 4.55      | 47.7             |
| PM11-42-HQ1  | 状花岗岩           | 26.5 | 20.1          | 8.17    | 5.39   | 226        | 9.97      | 142           | 647           | 38.3      | 33.7    | 2.2  | 596  | 16.3 | 1.82 | 3.7       | 50.9             |
| PM11-42-HQ2  |                | 29.3 | 7.02          | 4.43    | 3.07   | 235        | 7.95      | 133           | 661           | 26.4      | 27.5    | 1.88 | 491  | 13.9 | 1.81 | 5         | 50.5             |
| PM16-2-HQ1   |                | 42   | 11.4          | 5.63    | 4.06   | 204        | 4.7       | 185           | 729           | 28.3      | 10.7    | 0.67 | 275  | 8.06 | 1.45 | 1.94      | 22.6             |
| PM16-2-HQ4   |                | 37.7 | 4.39          | 2.76    | 3.71   | 228        | 3.24      | 90.3          | 680           | 18.7      | 43.4    | 2.91 | 610  | 16.3 | 1.84 | 3.4       | 33.4             |
| PM16-11-HQ1  | 糜棱岩化眼          | 53   | 16            | 6.66    | 6.33   | 190        | 3.38      | 288           | 890           | 34.2      | 14      | 1.36 | 239  | 6.64 | 1.22 | 4.12      | 31.2             |
| PM16-11-HQ3  | 球状花岗岩          | 31.2 | 7.54          | 3.82    | 4.7    | 211        | 5.75      | 206           | 383           | 27.1      | 19.6    | 1.52 | 264  | 6.97 | 1.47 | 4.92      | 31.1             |
| PM16-18-HQ2  |                | 38.8 | 4.61          | 3.02    | 4.44   | 199        | 3.13      | 180           | 1370          | 19.4      | 65.1    | 4.25 | 1140 | 26.4 | 1.66 | 3.26      | 18               |
| PM16-101-HQ2 | 片麻状-眼球<br>状花岗岩 | 25.8 | 22.3          | 8.98    | 9.04   | 202        | 9.01      | 185           | 534           | 57.2      | 15.8    | 1.3  | 278  | 8.12 | 1.52 | 3.09      | 32               |
| PM16-101-HQ3 |                | 48.3 | 19.5          | 7.94    | 8.43   | 241        | 8.01      | 152           | 769           | 52.8      | 14.8    | 1.16 | 248  | 7.36 | 1.43 | 3.42      | 25.9             |
| PM18-61-YQ1  |                | 54.6 | 11.2          | 5.49    | 4.1    | 289        | 2.89      | 130           | 936           | 22.6      | 7.68    | 0.68 | 171  | 5.42 | 1.66 | 4.05      | 32.4             |
| PM18-61-YQ2  | 糜棱岩化眼<br>球状花岗岩 | 41.8 | 24.1          | 8.48    | 8.52   | 211        | 2.77      | 113           | 836           | 51.4      | 13.5    | 1.1  | 246  | 7.12 | 1.64 | 3.74      | 29.7             |
| PM18-61-YQ3  |                | 36.9 | 22.4          | 8.6     | 9.42   | 209        | 3.31      | 126           | 732           | 51        | 14.5    | 1.2  | 251  | 7.36 | 1.42 | 3.96      | 37.8             |
|              |                |      |               |         |        |            |           |               |               |           |         |      |      |      |      |           |                  |

之间,表明 Nd 同位素的测试结果可靠,第一阶段 t<sub>DM1</sub>和第二阶段 t<sub>DM2</sub>模式年龄一致,很好地印证了这 一点(表5)。所有样品的 t<sub>DM1</sub>模式年龄介于 1588~ 2001 Ma之间,远大于岩体形成年龄。

(2) 锆石 Lu-Hf 同位素特征

本次对 3 件样品共 30 颗锆石测试了 Lu-Hf 同 位素,其中 3 颗锆石的测试结果误差较大,予以剔 除,剩余 27 个点的测试结果见表 6。绝大多数锆石 的<sup>176</sup>Lu/<sup>177</sup>Hf 值小于 0.002,仅 2 颗锆石大于 0.002, 显示锆石形成后具有较低的放射性成因 Hf 的积 累。样品<sup>176</sup> Hf/<sup>177</sup> Hf 值介于 0.282285~0.282644 之 间,根据锆石 U=Pb(<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U) 同位素年龄(858~ 1080 Ma)计算获得  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$  值为 3.64~13.59。单阶段 Hf 模式年龄( $t_{\rm DM1}$ )为 883~51351 Ma,平均为 1133 Ma; 二阶段 Hf 模式年龄( $t_{\rm DM2}$ )为 891~1588 Ma,平均为 1250 Ma,与锆石形成年龄较接近。在 $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ -年龄图 解上,所有数据点均落于亏损地幔线与球粒陨石线之 间,靠近亏损地幔线一侧(图 8-b)。

表 5 新元古代片麻状花岗岩 Sr-Nd 同位素测试结果 Table 5 Abundances of Sr-Nd of Neoproterozoic granitoids

| 样早  | PM11-30  | PM11-30  | PM16-2   | PM16-2   | PM11-42  | PM11-42  | PM16-101 | PM16-101 | PM18-61  |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1+ 5  | -HQ1     | -HQ2     | -HQ1     | -HQ4     | -HQ1     | -HQ2     | -HQ2     | -HQ3     | -YQ3     |
| <sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr          | 2.923055 | 3.389836 | 2.773318 | 6.528700 | 4.065300 | 4.572700 | 2.796500 | 4.023900 | 4.511800 |
| <sup>87</sup> Sr⁄ <sup>86</sup> Sr          | 0.755071 | 0.761995 | 0.745629 | 0.787613 | 0.755898 | 0.764290 | 0.745911 | 0.764920 | 0.766481 |
| 2σ  | 0.000015 | 0.000015 | 0.000013 | 0.000017 | 0.000016 | 0.000015 | 0.000011 | 0.000021 | 0.000017 |
| $I_{ m Sr}$                                 | 0.717223 | 0.718102 | 0.709161 | 0.701763 | 0.702440 | 0.704160 | 0.708695 | 0.711370 | 0.705204 |
| $^{147}$ Sm/ $^{144}$ Nd                    | 0.122363 | 0.117179 | 0.122589 | 0.113100 | 0.121200 | 0.116300 | 0.112900 | 0.117400 | 0.113800 |
| <sup>143</sup> Nd⁄ <sup>144</sup> Nd        | 0.512140 | 0.512120 | 0.512034 | 0.512043 | 0.512183 | 0.512135 | 0.511907 | 0.511884 | 0.511856 |
| 2σ  | 0.000008 | 0.000008 | 0.000011 | 0.000010 | 0.000007 | 0.000010 | 0.000011 | 0.000010 | 0.000006 |
| 锆石年龄/<br>Ma                                 | 906      | 906      | 920      | 920      | 920      | 920      | 931      | 931      | 950      |
| $\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{Nd}}(0)$ | -9.71    | -10.10   | -11.79   | -11.61   | -8.88    | -9.81    | -14.26   | -14.71   | -15.25   |
| $\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{Nd}}(t)$ | -1.10    | -0.88    | -3.07    | -1.77    | 0.01     | -0.35    | -4.29    | -5.27    | -5.19    |
| $f_{\rm Sm/Nd}$                             | -0.38    | -0.40    | -0.38    | -0.43    | -0.38    | -0.41    | -0.43    | -0.40    | -0.42    |
| $t_{\rm DM1}/{ m Ma}$                       | 1685     | 1626     | 1866     | 1677     | 1594     | 1588     | 1877     | 2001     | 1971     |
| $t_{\rm DM2}/{ m Ma}$                       | 1650     | 1632     | 1820     | 1715     | 1571     | 1600     | 1928     | 2007     | 2016     |



图 8  $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_i = \epsilon_{Nd}(t)(a)$ 和锆石年龄 $-\epsilon_{Hf}(t)$ 关系图(b)

Fig. 8 Diagrams of (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> -ε<sub>Nd</sub>(t)(a) and age-ε<sub>Hf</sub>(t)(b) for the granitic gneiss MORB—洋中脊玄武岩;OIB—洋岛玄武岩;DM—亏损地幔;CHUR—球粒陨石均一库

| 测点 | <sup>176</sup> Yb/ <sup>177</sup> Hf | <sup>176</sup> Lu⁄ <sup>177</sup> Hf | $^{176}\rm Hf\!/^{177}\rm Hf$ | 2σ       | U 年龄/M | $\mathbf{\epsilon}_{\mathrm{Hf}}(0)$ | $\boldsymbol{\epsilon}_{Hf}$ | 1σ      | $t_{\rm DM1}/{ m Ma}$ | $t_{\rm DM2}/{ m Ma}$ | $tc_{\rm DM}/Ma$ | $f_{\rm Lu/Hf}$ |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------|--------|--------------------------------------|------------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| F  | PM16-101-TV                          | ₩3                                   |                               |          |        |                                      |                              |         |                       |                       |                  |                 |
| 1  | 0.078267                             | 0.001728                             | 0.282519                      | 0.000022 | 934    | -8.95                                | 10.62                        | 0.77989 | 1059                  | 1129                  | 1135             | -0.95           |
| 2  | 0.029576                             | 0.000610                             | 0.282286                      | 0.000022 | 960    | -17.19                               | 3.64                         | 0.75455 | 1351                  | 1588                  | 1603             | -0.98           |
| 3  | 0.053245                             | 0.001114                             | 0.282390                      | 0.000021 | 1005   | -13.50                               | 7.99                         | 0.74790 | 1222                  | 1350                  | 1360             | -0.97           |
| 4  | 0.059385                             | 0.001284                             | 0.282426                      | 0.000023 | 1080   | -12.23                               | 10.76                        | 0.79838 | 1177                  | 1233                  | 1239             | -0.96           |
| 5  | 0.061804                             | 0.001398                             | 0.282432                      | 0.000023 | 895    | -12.04                               | 6.90                         | 0.82005 | 1173                  | 1333                  | 1344             | -0.96           |
| 6  | 0.049662                             | 0.001164                             | 0.282376                      | 0.000019 | 942    | -14.01                               | 6.08                         | 0.66361 | 1244                  | 1421                  | 1433             | -0.96           |
| 7  | 0.057377                             | 0.001272                             | 0.282448                      | 0.000024 | 1003   | -11.47                               | 9.88                         | 0.82656 | 1146                  | 1229                  | 1236             | -0.96           |
| 8  | 0.048773                             | 0.001124                             | 0.282397                      | 0.000020 | 911    | -13.27                               | 6.17                         | 0.68598 | 1214                  | 1391                  | 1403             | -0.97           |
| 9  | 0.056592                             | 0.001297                             | 0.282425                      | 0.000021 | 965    | -12.29                               | 8.21                         | 0.72471 | 1180                  | 1304                  | 1314             | -0.96           |
| 10 | 0.052120                             | 0.001192                             | 0.282393                      | 0.000020 | 930    | -13.39                               | 6.43                         | 0.69463 | 1220                  | 1390                  | 1401             | -0.96           |
|    | PM11-30-TW                           | 71                                   |                               |          |        |                                      |                              |         |                       |                       |                  |                 |
| 1  | 0.039581                             | 0.000861                             | 0.282503                      | 0.000023 | 876    | -9.51                                | 9.35                         | 0.78829 | 1056                  | 1164                  | 1172             | -0.97           |
| 2  | 0.065358                             | 0.001441                             | 0.282509                      | 0.000025 | 858    | -9.29                                | 8.84                         | 0.87680 | 1064                  | 1182                  | 1191             | -0.96           |
| 4  | 0.024860                             | 0.000531                             | 0.282389                      | 0.000025 | 923    | -13.54                               | 6.54                         | 0.88984 | 1205                  | 1378                  | 1389             | -0.98           |
| 5  | 0.041721                             | 0.000889                             | 0.282437                      | 0.000025 | 936    | -11.85                               | 8.30                         | 0.86826 | 1150                  | 1277                  | 1286             | -0.97           |
| 6  | 0.036587                             | 0.000791                             | 0.282428                      | 0.000029 | 889    | -12.18                               | 6.99                         | 1.02444 | 1160                  | 1323                  | 1333             | -0.98           |
| 8  | 0.034472                             | 0.000740                             | 0.282361                      | 0.000028 | 877    | -14.53                               | 4.42                         | 0.97299 | 1251                  | 1476                  | 1489             | -0.98           |
| 9  | 0.038083                             | 0.000820                             | 0.282413                      | 0.000025 | 947    | -12.68                               | 7.73                         | 0.88871 | 1181                  | 1321                  | 1331             | -0.98           |
| 10 | 0.029821                             | 0.000656                             | 0.282351                      | 0.000028 | 924    | -14.90                               | 5.11                         | 0.99569 | 1263                  | 1468                  | 1481             | -0.98           |
|    | PM16-2-TW                            | 1                                    |                               |          |        |                                      |                              |         |                       |                       |                  |                 |
| 1  | 0.071121                             | 0.001591                             | 0.282475                      | 0.000023 | 970    | -10.49                               | 9.95                         | 0.81897 | 1117                  | 1199                  | 1207             | -0.95           |
| 2  | 0.078792                             | 0.001721                             | 0.282539                      | 0.000022 | 978    | -8.24                                | 12.27                        | 0.77492 | 1030                  | 1059                  | 1063             | -0.95           |
| 3  | 0.082549                             | 0.001816                             | 0.282496                      | 0.000021 | 916    | -9.75                                | 9.40                         | 0.72463 | 1093                  | 1192                  | 1200             | -0.95           |
| 5  | 0.064821                             | 0.001427                             | 0.282490                      | 0.000022 | 995    | -9.96                                | 11.10                        | 0.75681 | 1091                  | 1146                  | 1151             | -0.96           |
| 6  | 0.099852                             | 0.001917                             | 0.282644                      | 0.000026 | 870    | -4.53                                | 13.59                        | 0.89546 | 883                   | 891                   | 894              | -0.94           |
| 7  | 0.104905                             | 0.002159                             | 0.282601                      | 0.000024 | 887    | -6.06                                | 12.27                        | 0.85205 | 952                   | 988                   | 992              | -0.93           |
| 8  | 0.103184                             | 0.002204                             | 0.282568                      | 0.000026 | 921    | -7.22                                | 11.78                        | 0.92709 | 1001                  | 1045                  | 1050             | -0.93           |
| 9  | 0.073635                             | 0.001636                             | 0.282503                      | 0.000026 | 931    | -9.52                                | 10.05                        | 0.89375 | 1079                  | 1162                  | 1169             | -0.95           |
| 10 | 0.080479                             | 0.001728                             | 0.282535                      | 0.000027 | 913    | -8.39                                | 10.74                        | 0.94546 | 1036                  | 1105                  | 1111             | -0.95           |

#### 表 6 新元古代片麻状花岗岩锆石 Lu-Hf 同位素测试结果 Table 6 Abundances of Lu-Hf of zircons for the Neoproterozoic granitoids

注:PM16-101-TW3 锆石 Lu-Hf 同位素数据据参考文献②

#### 5 讨 论

从岩石地球化学分析结果看,新元古代片麻状 花岗岩具有典型的大陆地壳岩石的元素地球化学 特征,与 A2 型花岗岩<sup>[15]</sup> 类似。岩石的 Nd 模式年 龄为 1588~2001 Ma,  $\varepsilon_{Nd}(t)$  值变化于-5.27~0.01 之间,锶钕同位素具水平相关性,为壳源花岗岩特 征。胡霭琴等<sup>[2]</sup>获得温泉岩群斜长角闪岩类的  $\varepsilon_{Nd}$ (940 Ma)值为 0.9~3.2,与新元古代片麻状花岗岩 的结果明显不同,表明这些花岗岩不可能由角闪岩 类部分熔融形成,其源区可能为成熟度很高的陆壳 碎屑物质,是由古元古代温泉岩群基底硅铝质的重 熔改造形成的。

在 $R_1$ - $R_2$ 构造环境判别图中,所有样品点均落 在同碰撞区(图 9-a),在 Rb/30-Hf-3Ta 判别图 (图 9-b)中,样品表现为从板内到火山弧再到碰撞 环境的逐渐演变趋势。综合各种数据和判别图解, 调查区的新元古代早期片麻状花岗岩主要形成于 活动大陆边缘,与洋陆俯冲具有密切关系。

在东天山星星峡地区、中天山巴仑台地区、西



Fig. 9 Tectonic implications for granite  $R_1 = R_2(a)$  and Rb/30=Hf=3Ta(b) diagrams

天山赛里木湖地区与塔里木北缘均发育新元古代 Rodinia 超大陆裂解有关的岩石记录<sup>[16-19]</sup>,一些学 者提出塔里木板块曾经是 Rodinia 超大陆的一部 分<sup>[12-13, 20-28]</sup>,因此天山地区前寒武纪陆壳块体(包括 伊犁地块)很可能也是 Rodinia 超大陆在新元古代 中一晚期裂解过程中分离、散落在古亚洲洋中的大 陆碎块。温泉岩群中新元古代早期(约9 Ga)的混 合岩和片麻状花岗岩则可能是与 Rodinia 超大陆会 聚有关的格林维尔期造山作用、地壳增厚导致地壳 物质部分熔融的产物。

6 结 论

(1)本次对温泉县 3 个眼球状片麻状-眼球状 花岗岩采集的 4 件锆石测年样品开展年代学研究, 其中<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup>U 年龄值一致,大多集中在 910~950 Ma 之间,与前人的研究结果一致。因此,910~950 Ma 能代表该类花岗岩的形成时代。

(2)岩体具有高硅(≥70%)、富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, 6.5%~8.9%)且 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O 的特征,表现出从钙碱 性到钾玄岩演化的变化趋势。稀土元素特征与碱 性花岗岩相似。微量元素富集 Rb、Th、U、K 等,贫 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti 等,显示活动大陆边缘岩石特 征。全岩 Sr-Nd 同位素特征表明具典型壳源花岗 岩(S型花岗岩)的特征。Lu-Hf 同位素特征表明单 阶段 Hf 模式年龄( $t_{DM1}$ )为 883~1351 Ma,平均为 1133 Ma; 二阶段 Hf 模式年龄( $t_{DM2}$ )为 891~ 1588 Ma,平均为 1250 Ma,与锆石形成年龄比较 接近。

(3)温泉岩群中新元古代早期(约9Ga)的混合 岩和片麻状花岗岩可能是与 Rodinia 超大陆会聚有 关的格林维尔期造山作用、地壳增厚导致地壳物质 部分熔融的产物。

#### 参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [2] 胡霭琴,张国新,陈义兵.中国新疆地壳演化主要地质事件年代学和地球化学[M].北京:地质出版社,2006,119-161.
- [3] Allen M B, Windley B F, Zhang C. Paleozoic Collisional Tectonics and Magmatism of the Chinese TianShan, Central Asia[J]. Tectonophysics, 1993, 220: 89–115.
- [4] Gao J, Li M S, Xiao X C, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China [J]. Tectonophysics, 1993, 287: 213–231.
- [5] 胡霭琴,张国新,张前锋,等.天山造山带基底时代和地壳增生的 Nd 同位素制约[J].中国科学(D辑),1998,29(2):104-112.
- [6] 胡霭琴,张国新,陈义兵,等.新疆大陆基底分区模式和主要地质事 件的划分[J].新疆地质,2001,19(1):12-19.
- [7] Hu A Q, Jahn B M, Zhang G X, et al, Zhang, Q. F. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I: Isotopic characterization of basement rocks [J]. Tectonophysics, 2000, 328: 15–51.
- [8] Wang B, Faure M, Cluzel D, et al.Late Palaeozoic tectonic evolution of the northern West Chinese Tianshan Belt[J].Geodinamica Acta, 2006, 19: 237–247.
- [9] Wang B, Chen Y, Zhan S, et al. Primary Carboniferous and Permian palaeomagnetic results from the Yili Block (NW China) and their

implications on the geodynamic evolution of Chinese Tianshan Belt[J]. Earthand Planetary Science Letters,2007,263: 288-308.

- [10] 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽, 等. 新疆北部地质演化及成岩成矿规 律[M].北京: 科学出版社, 1997:9-105.
- [11] 胡霭琴,韦刚健,张积斌,等.西天山温泉地区早古生代斜长角闪 岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].岩石学报, 2008,24(12):2731-2740.
- [12] 胡霭琴, 韦刚健, 江博明, 等. 天山 0.9Ga 新元古代花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].地球化学, 2010, 39 (3):197-212.
- [13] 李孔森, 王博, 舒良树, 等.北天山温泉群的地质特征、时代和构造 意义[J].高校地质学报, 2013, (3): 491-503.
- [14] 侯可军,李延河,邹天人,等.LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的 分析方法及地质应用[J].岩石学报,2007,23(10):2595-2604.
- [15] Eby G N.Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J].Geology, 1992, 20(7): 641–644.
- [16] Xu B, Jian P, Zheng HF et al. U Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations[J].Precambrian Research, 2005, 136: 107–123.
- [17] Xu B, Xiao S H, Zou H B, et al. SHRIMP zircon U Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China[J]. Precambrian Research, 2009, 168: 247–258.
- [18] 丁海峰,马东升,姚春彦,等.新疆果子沟埃迪科拉纪冰碛岩沉积 环境[J].科学通报,2009,54(23): 3726-3737.
- [19] 王飞,王博,舒良树.塔里木西北缘阿克苏地区大陆拉斑玄武岩对 新元古代裂解事件的制约[J].岩石学报,2010,26(2):547-558.
- [20] Chen B, Jahn B M. Genesis of post collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd–Sr isotope and trace element evidence[J].Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 23: 691–703.
- [21] Huang B C, Xu B, Zhang C X, et al. Paleomagnetism of the Baiyisi volcanic rocks (ca.740 Ma) of Tarim, Northwest China: A continental

fragment of Neoproterozoic Western Australia [J] Precambrian Research, 2005, 142: 83–92.

- [22] Zhan S, Chen Y, Xu B, et al. Late Neoproterozoic paleomagnetic results from the Sugetbrak Formation of the Aksu area, Tarim basin (NW China) and their implications to paleogeographic reconstructions and the snowball Earth hypothesis[J]. Precambrian Research, 2007, 154: 143–158.
- [23] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Journal of the Geological Society, 2007, 164: 31–47.
- [24] Lu S N, Li H K, Zhang C L, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments [J]. Precambrian Research, 2008, 160: 94–107.
- [25] Wang B, Jahn B M, Lo C H, et al. Structural analysis and 40Ar/39Ar thermochronology of Proterozoic rocks in Sailimu area (NW China): Implication to polyphase tectonics of the North Chinese Tianshan[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42: 839–853.
- [26] Wang B, Jahn B M, Shu L S, et al.Middle–Late Ordovician arc–type plutonism in the NW Chinese Tianshan: implication for the accretion of the Kazakhstan continent in Central Asia[J].Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49: 40–53.
- [27] Wang B, Liu H S, Shu L S, et al. Early Neoproterozoic crustal evolution in northern Yili Block: insights for migmatite, orthogneiss and leucogranite of the Wenquan metamorphic complex in the NW Chinese Tianshan[J].Precambrian Research, 2014, 242: 58–81.
- [28] Wang B, Shu L S, Liu H S, et al. First evidence for ca.780 Ma intraplate magmatism and itsimplications for Neoproterozoic rifting of the North Yili Block andtectonic origin of the continental blocks in SW of Central Asia[J].Precambrian Research, 2014, 254: 258–272.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局.1:200000 地质图温泉幅(L-44-22).1992.
- ② 新疆维吾尔自治区地质矿产局.1:50000 区域地质调查报告(扎 冷木特、柯克他乌、牧区医院、牙马特).2018.