

文章编号:1672-6561(2017)03-0301-25

## 塔里木盆地西北缘柯坪地区二叠纪玄武岩 喷发时限:来自碎屑锆石的证据

李锦轶<sup>1</sup>, 刘建峰<sup>1</sup>, 郑荣国<sup>1</sup>, 冯乾文<sup>2,3</sup>, 郑培玺<sup>4,5</sup>,  
朱志新<sup>6</sup>, 王励嘉<sup>1</sup>, 张晓卫<sup>1</sup>, 宋 彪<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;  
3. 中国科学院新疆矿产资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011; 4. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061;  
5. 吉林大学 东北亚矿产资源评价国土资源部重点实验室, 吉林 长春 130061;  
6. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘 要:**塔里木盆地西北缘柯坪地区玄武岩由夹于二叠纪沉积岩系中的两套玄武岩组成, 被普遍认为是塔里木大火成岩省的组成部分。对其喷发时限, 目前有 270~290 Ma 和 290 Ma 前后两种认识。这些认识不仅在时限上存在明显差别, 也与该区现在被广泛接受的地层划分方案不协调。针对这一问题, 采用碎屑锆石定年方法, 对采自 3 个剖面不同层位 7 个砂岩样品的碎屑锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 定年, 结合已有其他资料, 试图通过限定夹有玄武岩的碎屑岩沉积时代, 间接探讨该区玄武岩喷发时限。采自下部玄武岩之下的 3 个碎屑岩样品都含有数量可观的年龄介于 275~290 Ma 的碎屑锆石, 指示其沉积时代不早于早二叠世晚期; 采自下部玄武岩中陆源碎屑岩夹层的 1 个砂岩样品, 除了含有 20 粒年龄介于 280~290 Ma 的碎屑锆石外, 还含有 11 粒年龄介于 270~279 Ma 的碎屑锆石; 采自两套玄武岩之间陆源碎屑岩的 3 个砂岩样品都含有大量年龄介于 260~280 Ma 的碎屑锆石。这些碎屑锆石的年龄表明, 柯坪地区夹有玄武岩的二叠纪地层沉积时代不会早于早二叠世晚期, 很可能是中二叠世至晚二叠世早期。因此, 该区的这些沉积岩所夹玄武岩不可能是在早二叠世期间喷发的。考虑到这些碎屑锆石从结晶经过隆升剥蚀搬运再到沉积需要一定的时间, 以及两套玄武岩之间和上部玄武岩之上的沉积岩中所含的古生物化石, 推测柯坪地区玄武岩喷发时限可能为中—晚二叠世。这些资料揭示出, 塔里木盆地西北缘柯坪地区玄武岩的喷发时限有可能与峨眉山玄武岩是大致相同的。

**关键词:**大地构造; 二叠纪; 玄武岩; 地层; 碎屑锆石; 喷发时限; 柯坪地区; 塔里木盆地

中图分类号: P588.14<sup>+</sup>5

文献标志码: A

## The Eruptive Timing of Permian Basalts in Keping Area, the Northwest Margin of Tarim Basin, China: Evidence from Detrital Zircons

LI Jin-yi<sup>1</sup>, LIU Jian-feng<sup>1</sup>, ZHENG Rong-guo<sup>1</sup>, FENG Qian-wen<sup>2,3</sup>, ZHENG Pei-xi<sup>4,5</sup>,  
ZHU Zhi-xin<sup>6</sup>, WANG Li-jia<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-wei<sup>1</sup>, SONG Biao<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Mineral Resources Research Center, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 4. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 5. Key Laboratory of Mineral Resources Evaluation in Northeast Asia of Ministry of Land and Resources, Jilin University, Changchun 130061,

收稿日期: 2017-04-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272243)

作者简介: 李锦轶(1956-), 男, 辽宁昌图人, 研究员, 博士研究生导师, 理学博士, E-mail: jyli@cags.ac.cn.

Jilin, China; 6. Geological Research Academy of Xinjiang, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

**Abstract:** Permian basalts in Keping area, the northwestern margin of Tarim Basin, as part of Tarim large igneous province, consist of two interlayers in Permian sedimentary sequences. Up to now, there are two different viewpoints on the eruptive timing of those basalts in publications, one is 270–290 Ma, another one is about 290 Ma, which are controversial each other and discordant with biostratigraphy of the area. The eruptive timing of the basalts based on the sedimentary ages of Permian strata holding these basalts, which are constrained by detrital zircon dating data of 7 samples from 3 sections obtained by LA-ICP-MS zircon U-Pb dating method, was discussed. Three sandstone samples from sedimentary sequences under the lower basalts contain a moderate numbers of zircons with the ages of 275–290 Ma, implying that the oldest deposition age of the sandstone is not earlier than the late of the Early Permian. One sample (Kp10-1) from the sedimentary interlayer of the lower basalts contains 11 younger zircons with the ages of 270–279 Ma, and 20 grains with the ages of 280–289 Ma among 94 zircons. Three samples from sedimentary sequences between lower and upper basalts yield a big number of zircons with the ages of 260–280 Ma. These younger detrital zircon ages show that the depositing timing of Permian strata holding the basalts in Keping area is not early than the late of Early Permian, probably from Middle Permian to the early of Late Permian. Thus, it is impossible that the eruption of basalts in the area took place during Early Permian. Considering the fossils in the sedimentary sequences between two layers of basalts and above the upper basalts, and the long time from crystallisation through uplifting, denudation, and transportation to deposition of the detrital zircons, it is speculated that the eruption of basalts in Keping area took place in Middle-Late Permian, which means that the eruption of Keping basalts is possibly simultaneous with Emeishan basalts in South China.

**Key words:** tectonics; Permian; basalt; stratum; detrital zircon; eruptive timing; Keping area; Tarim Basin

## 0 引 言

塔里木盆地西北缘柯坪地区二叠纪沉积岩系中所夹的玄武岩,被认为是塔里木大火成岩省的一部分<sup>[1-2]</sup>。迄今为止,从该区玄武岩获得的锆石年龄为 274~292 Ma<sup>[3-7]</sup>,全岩 Ar-Ar 年龄为 272~283 Ma<sup>[8-9]</sup>。根据这些同位素年代学资料,一些研究者认为该大火成岩省持续了 10 Ma,柯坪地区玄武岩是在 290 Ma 前后喷发的,巴楚等地区基性杂岩是在 280 Ma 前后形成的<sup>[9-11]</sup>;而另一些研究人员认为该大火成岩省持续时间比较长,达 20 Ma,早期 287~291 Ma 喷发了巨量玄武岩,晚期 272~283 Ma 形成了其他类型的面积较小岩浆岩<sup>[5]</sup>;Yu 等则认为该大火成岩省岩浆活动时间为 288~291 Ma,持续不超过 5 Ma<sup>[6]</sup>。上述这些认识,都把塔里木大火成岩省喷发时代置于早二叠世,这与以往地层学家基于古生物资料认为这套碎屑岩夹火山岩的地层时代主体是中—晚二叠世<sup>[12]</sup>的结论差异明显。另一方面,上述关于玄武岩喷发时代相差 10 Ma 或 20 Ma 的认识,使得该大火成岩省在时代

上与世界上其他大火成岩省明显不同。关于该区大火成岩省玄武岩喷发时限不超过 5 Ma 的认识,虽然不存在这方面的问题,但与其他已有玄武岩年代学资料相矛盾。这样,关于塔里木盆地二叠纪玄武岩喷发时限,就产生了两个问题:一是塔里木盆地西北缘玄武岩代表的塔里木大火成岩省喷发时限究竟是多少?是 270~290 Ma,还是在 290 Ma 前后?究竟是该大火成岩省在时限上明显不同于地球上其他大火成岩省,还是该区玄武岩的时代确定有问题?二是夹有这些玄武岩的地层时代究竟是早二叠世,还是中—晚二叠世?该区玄武岩真的是在早二叠世期间喷发的吗?

针对上述问题,笔者对已有锆石定年资料进行了再研究。研究发现:①不同研究人员报道的同一层位玄武岩年龄相差 10~20 Ma,例如,不同研究人员从该区下部玄武岩分别获得了 290 Ma<sup>[6]</sup>、292 Ma<sup>[4]</sup>、288 Ma<sup>[7]</sup>和 275 Ma<sup>[3]</sup>,从该区上部玄武岩则分别获得了 279 Ma<sup>[5]</sup>和 289 Ma<sup>[6]</sup>;②通过对已有年龄资料的锆石阴极发光(CL)图像分析,发现尽管这些锆石晶体特征差别较大,但有一个共同特征,即与该区已

有砂岩碎屑锆石和区域上同时代花岗质岩石中的锆石类似。这就使我们怀疑这些锆石是从玄武岩浆中结晶出来的,还是玄武岩岩浆上升过程中从围岩中捕获的?要想回答这一问题,虽然可以对这些定年锆石的晶体特征进行比较研究,但是这样终究还是不能得出令所有研究者都能接受的结果。然而,如果能够找到一种途径对夹有玄武岩的碎屑沉积岩系的沉积时代进行限定,就可以间接确定这些玄武岩的喷发时限。

众所周知,碎屑锆石是以碎屑形式赋存在沉积岩中的锆石,它们的年龄反映的是其物源区岩石的母岩结晶或变质时代。一般说来,沉积岩中的碎屑锆石年龄可以差别很大,成因和来源也很复杂,其中保存了地壳形成演化的大量信息。但是,在排除沉积以后变质变形影响的前提下,沉积岩中最年轻的碎屑锆石可以给出样品所在层位沉积岩沉积时代的下限,这样就给沉积岩系时代的确定提供了一种新的约束。基于这一认识,本文依据塔里木盆地柯坪地区3个剖面共7个二叠纪砂岩样品碎屑锆石定年研究获得的年轻锆石资料,结合前人已经发表的碎屑锆石年龄和古生物资料,探讨该区二叠纪碎屑岩沉积时代和该区玄武岩的喷发时限。

## 1 地层基本特征和样品采集位置

在塔里木盆地西北缘柯坪地区夹于陆源碎屑沉积岩系中的二叠纪玄武岩,包括下部玄武岩两层、上部玄武岩6层,两套玄武岩之间为厚度大于1 000 m的陆源碎屑岩夹灰岩。出露在该区不同地点的二叠纪碎屑岩被命名为不同的岩石地层单位:出露在新疆柯坪县城以北地区印干山一带的二叠纪地层,自下而上划分为康克林组、库普库兹满组、开派兹雷克组和沙井子组;出露在印干山以南柯坪塔格和衣木干他乌等地的二叠纪地层,自下而上划分为康克林组、巴立克立克组和卡仑达尔组。在早期文献中,康克林组被置于晚石炭世,其上的地层都被置于早二叠世<sup>[13]</sup>。随着地质资料的积累以及石炭系和二叠系界线的重新确定,康克林组的时代被置于石炭纪末期至二叠纪早期或者置于早二叠世早期,其上原来划分的早二叠世地层相应向上移动,被置于早二叠世晚期<sup>[14]</sup>。在最新的文献中,基本上都采用了Chen等的划分方案<sup>[12]</sup>,即把康克林组置于早二叠世早期,把其余各组地层置于早二叠世晚期至晚二叠世早期。根据新发现的古生物化石资料,沙井子组上部被改置于晚白垩世或新生代早期,下部仍为晚二叠世,二者之

间为平行不整合<sup>[15-16]</sup>。根据玄武岩发育情况及岩石组合,笔者认为印干山以南的二叠纪地层中的巴立克立克组大体相当于印干山一带的库普库兹满组,其上的卡仑达尔组则相当于开派兹雷克组上部玄武岩之下的沉积岩系。

本研究的砂岩样品分别采集自柯坪县城以东地区的柯坪塔格北段西坡、柯坪县城以西地区的衣木干他乌西坡和柯坪县城以北地区的印干山东北磷矿厂等3个地区。样品采集的地理位置见图1。

## 2 分析方法

本文所用的砂岩样品分别采于不同时间,锆石分选在不同实验室完成。样品Kp004采于2010年,样品Kp08-1a、Kp09-2、Kp10-1和Kp07-4采于2013年,锆石分选在河北省廊坊市诚信地质服务公司实验室进行;样品16P01、16P02采于2016年,锆石分选在河北省区域地质调查院实验室进行。

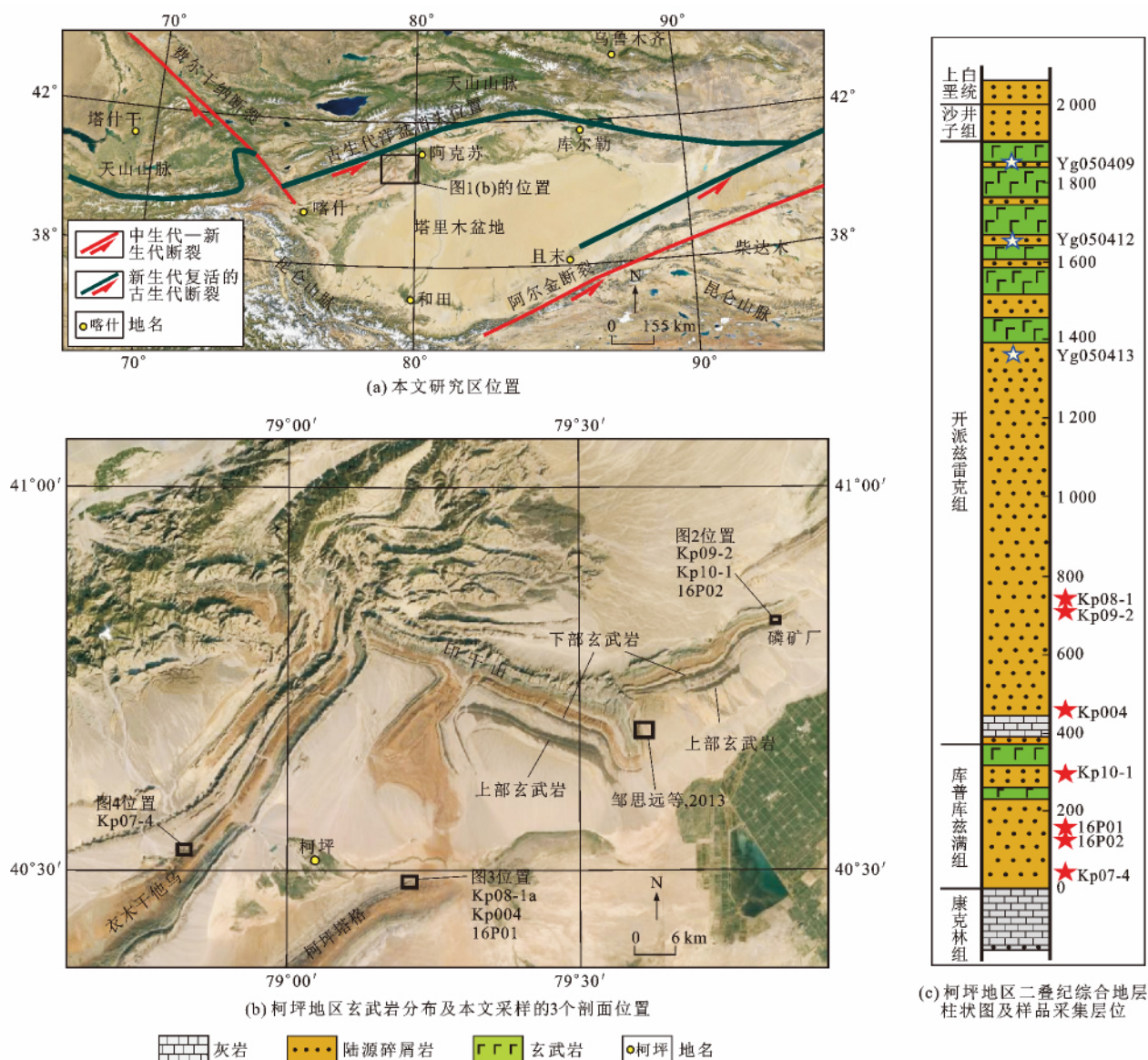
样品的碎屑锆石定年分析均采用激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)分析技术。样品Kp004在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,应用GeoLas2005准分子激光剥蚀系统和Agilent 7500a型ICP-MS仪进行锆石U-Pb定年,激光束斑为32  $\mu\text{m}$ 。U-Pb定年中采用标准锆石91500作外标进行同位素分馏校正,详细的实验原理和流程参见文献<sup>[17]</sup>。其余样品均在吉林大学测试科学实验中心进行,应用COMPEXPro型ArF准分子激光剥蚀系统和Agilent7900型ICP-MS仪进行锆石U-Pb定年,详细实验原理和流程与样品Kp004相同。对分析数据的离线处理,采用ICPMSDataCal软件<sup>[17-18]</sup>。锆石样品的U-Pb年龄谱和曲线绘制及年龄计算采用Isoplot 2.49软件<sup>[19]</sup>。

## 3 样品特征与定年结果

采自塔里木盆地西北缘柯坪地区不同地点的7个砂岩样品中年轻碎屑锆石U-Pb年龄(小于290 Ma)分析结果列于表1,采用的锆石年龄均为谐和度大于90%的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 表面年龄。

### 3.1 印干山东北磷矿厂

在柯坪县城以北地区的印干山东北磷矿厂出露了SE向缓倾斜的由奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系等组成的一套单斜岩层。其中的二叠系包括下部称为康克林组的灰岩、上部称为库普库兹满组和开派兹雷克组的夹有两层玄武岩的陆源碎屑岩系。根据在卫星影像上的追索,这两



实心五角星为本文采集的砂岩样品,空心五角星为邹思远等 2013 年发表的碎屑锆石样品<sup>[20]</sup>

图 1 塔里木盆地西北缘二叠纪砂岩样品采集的地理位置及地层层位

Fig. 1 Geographic Positions of Permian Sandstone Samples in the Northwestern Margin of Tarim Basin and Their Levels in Stratigraphical Column of the Keping Area

层玄武岩是印干山地区下部玄武岩在区域上的延伸(图 2)。锆石 U-Pb 定年样品分别采自该套玄武岩之下的土黄色砂岩(样品 16P02)、夹于两层玄武岩间的土黄色砂岩(样品 Kp10-1)和玄武岩层之上夹于粉砂岩中的灰白色细砂岩(样品 Kp09-2)。前两个样品采集层位属于库普库兹满组,后面一个样品所在层位属于开派兹雷克组下部。

对从样品 16P02 中分选出的 105 粒锆石进行 U-Pb 定年分析,锆石年龄的谐和度均大于 90%。其中有 19 粒锆石年龄小于 290 Ma,包括 1 粒 278 Ma,18 粒 282~289 Ma。这些资料显示,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 280 Ma。

对从样品 Kp10-1 中分选出的 102 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 94 粒锆石年龄的谐和度大于 90%。其中有 32 粒锆石年龄小于 290 Ma,包括 1 粒 260 Ma,11 粒 270~279 Ma,20 粒 280~289 Ma。这些资料显示,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 270 Ma。

对从样品 Kp09-2 中分选出的 102 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 98 粒锆石年龄的谐和度大于 90%。其中有 65 粒锆石年龄小于 290 Ma,包括 6 粒 263~269 Ma,22 粒 271~279 Ma,37 粒 280~289 Ma。这些资料显示,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 263 Ma。

表 1 年轻碎屑锆石 U-Pb 年龄分析结果

Tab. 1 Analysis Results of U-Pb Ages of Younger Detrital Zircons

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
16P01-27	34.7	177	528	0.34	0.053 0±0.002 8	0.330 1±0.019 8	0.045 7±0.001 4	0.021 2±0.001 0	332.0±125.0	290.0±15.1	288.0±8.6	424.0±19.1	99	288.0±8.6
16P01-30	30.9	179	475	0.38	0.050 9±0.002 8	0.312 6±0.020 3	0.043 9±0.001 5	0.016 7±0.000 9	235.0±131.0	276.0±15.7	277.0±9.6	335.0±17.0	99	277.0±9.6
16P01-45	20.5	90	352	0.26	0.052 5±0.002 9	0.339 8±0.018 7	0.046 5±0.001 2	0.016 8±0.000 6	306.0±126.0	297.0±14.2	293.0±7.2	336.0±12.5	98	293.0±7.2
16P01-50	24.0	307	340	0.90	0.057 1±0.003 4	0.328 3±0.017 6	0.045 5±0.001 6	0.015 1±0.000 5	494.0±127.0	288.0±13.5	287.0±10.1	303.0±10.3	99	287.0±10.1
16P01-54	19.7	208	288	0.72	0.051 5±0.002 5	0.325 6±0.015 9	0.045 4±0.000 9	0.016 4±0.000 6	261.0±111.0	286.0±12.2	286.0±5.9	328.0±11.6	99	286.0±5.9
16P01-82	10.1	47	151	0.31	0.053 8±0.004 3	0.340 2±0.024 5	0.047 2±0.001 5	0.018 1±0.001 2	365.0±214.0	297.0±18.6	297.0±9.0	363.0±24.4	99	297.0±9.0
16P01-84	22.4	126	377	0.33	0.054 8±0.003 5	0.328 1±0.019 5	0.045 4±0.001 2	0.018 1±0.000 7	467.0±146.0	288.0±14.9	286.0±7.2	363.0±14.0	99	286.0±7.2
16P01-87	22.1	144	395	0.37	0.052 5±0.003 1	0.345 1±0.020 1	0.047 5±0.000 8	0.020 2±0.000 6	306.0±135.0	301.0±15.2	299.0±4.8	404.0±11.5	99	299.0±4.8
16P01-90	12.4	87	200	0.44	0.053 4±0.004 0	0.327 8±0.022 0	0.045 3±0.001 2	0.015 3±0.000 6	346.0±168.0	288.0±16.8	286.0±7.2	308.0±12.7	99	286.0±7.2
16P01-93	12.5	112	210	0.53	0.051 7±0.003 0	0.336 9±0.019 4	0.046 8±0.001 1	0.017 3±0.000 6	333.0±133.0	295.0±14.8	295.0±6.6	346.0±11.3	99	295.0±6.6
Kp004-02	8.5	74	159	0.47	0.056 4±0.002 3	0.319 2±0.012 8	0.041 2±0.000 4	0.013 8±0.000 4	478.0±95.0	281.0±10.0	260.0±3.0	278.0±8.0	92	260.0±3.0
Kp004-05	33.2	337	525	0.64	0.052 8±0.001 6	0.336 2±0.010 0	0.046 2±0.000 5	0.015 0±0.000 4	320.0±70.0	294.0±8.0	291.0±3.0	300.0±7.0	98	291.0±3.0
Kp004-06	7.7	56	129	0.43	0.053 3±0.002 5	0.342 5±0.015 9	0.047 0±0.000 8	0.014 7±0.000 5	343.0±106.0	299.0±12.0	296.0±5.0	295.0±10.0	99	296.0±5.0
Kp004-07	17.5	190	284	0.67	0.053 2±0.002 1	0.324 2±0.012 7	0.044 9±0.000 6	0.014 8±0.000 4	345.0±95.0	285.0±10.0	283.0±4.0	296.0±9.0	99	283.0±4.0
Kp004-08	13.6	111	231	0.48	0.054 8±0.001 9	0.342 5±0.011 3	0.045 6±0.000 5	0.014 4±0.000 4	406.0±80.0	299.0±9.0	288.0±3.0	290.0±8.0	96	288.0±3.0
Kp004-09	8.8	64	148	0.43	0.053 3±0.002 7	0.338 5±0.016 8	0.046 6±0.000 6	0.015 6±0.000 5	343.0±108.0	296.0±13.0	293.0±4.0	313.0±11.0	99	293.0±4.0
Kp004-10	52.8	697	885	0.79	0.055 8±0.001 3	0.332 7±0.007 9	0.043 0±0.000 4	0.012 9±0.000 3	456.0±50.0	292.0±6.0	272.0±2.0	258.0±5.0	92	272.0±2.0
Kp004-12	8.1	58	135	0.43	0.052 9±0.002 7	0.342 5±0.016 9	0.047 4±0.000 8	0.016 2±0.000 6	324.0±110.0	299.0±13.0	299.0±5.0	324.0±12.0	99	299.0±5.0
Kp004-14	15.5	154	259	0.60	0.053 1±0.001 7	0.328 6±0.010 0	0.045 0±0.000 6	0.014 6±0.000 4	332.0±103.0	288.0±8.0	284.0±3.0	293.0±8.0	98	284.0±3.0
Kp004-15	12.6	103	215	0.48	0.052 4±0.002 0	0.335 4±0.012 5	0.046 1±0.000 5	0.014 8±0.000 5	306.0±89.0	294.0±9.0	290.0±3.0	297.0±9.0	98.0	290.0±3.0
Kp004-16	13.7	136	286	0.48	0.056 5±0.002 5	0.291 3±0.013 7	0.037 2±0.000 5	0.013 2±0.000 6	472.0±100.0	260.0±11.0	235.0±3.0	265.0±12.0	90	
Kp004-17	28.1	307	478	0.64	0.052 0±0.001 4	0.318 9±0.008 7	0.044 1±0.000 4	0.013 8±0.000 3	287.0±56.0	281.0±7.0	278.0±2.0	276.0±6.0	99	278.0±2.0
Kp004-18	75.1	1 038	1 485	0.70	0.064 1±0.001 4	0.330 2±0.007 4	0.037 1±0.000 4	0.011 5±0.000 3	744.0±46.0	290.0±6.0	235.0±2.0	231.0±5.0	79	
Kp004-19	15.8	141	266	0.53	0.053 6±0.001 6	0.341 5±0.010 2	0.046 2±0.000 6	0.014 3±0.000 4	354.0±69.0	298.0±8.0	291.0±4.0	288.0±7.0	97	291.0±4.0
Kp004-20	5.8	54	107	0.51	0.054 2±0.002 7	0.310 4±0.014 3	0.042 1±0.000 7	0.013 1±0.000 5	376.0±113.0	274.0±11.0	266.0±4.0	263.0±10.0	96	266.0±4.0
Kp004-21	10.1	77	169	0.46	0.057 5±0.002 3	0.365 7±0.014 0	0.046 4±0.000 6	0.015 5±0.000 5	509.0±87.0	316.0±10.0	292.0±3.0	311.0±9.0	92	292.0±3.0
Kp004-24	11.7	99	189	0.52	0.053 5±0.002 3	0.349 8±0.015 1	0.047 4±0.000 7	0.015 2±0.000 5	350.0±94.0	305.0±11.0	298.0±4.0	305.0±9.0	97	298.0±4.0
Kp004-26	19.0	195	317	0.61	0.055 5±0.002 2	0.346 4±0.013 0	0.045 4±0.000 6	0.014 2±0.000 4	432.0±89.0	302.0±10.0	286.0±4.0	286.0±8.0	94	286.0±4.0
Kp004-27	12.8	111	224	0.49	0.051 8±0.002 0	0.321 6±0.012 8	0.044 6±0.000 5	0.013 8±0.000 4	276.0±87.0	283.0±10.0	281.0±3.0	278.0±7.0	99	281.0±3.0
Kp004-28	34.6	378	619	0.61	0.052 2±0.001 3	0.302 2±0.007 1	0.041 7±0.000 3	0.013 0±0.000 2	295.0±56.0	268.0±6.0	264.0±2.0	261.0±5.0	98	264.0±2.0
Kp004-29	14.2	174	228	0.76	0.053 9±0.002 4	0.333 1±0.013 9	0.044 8±0.000 5	0.013 3±0.000 4	365.0±98.0	292.0±11.0	283.0±3.0	268.0±7.0	96	283.0±3.0
Kp004-30	14.6	136	244	0.56	0.053 3±0.001 9	0.332 4±0.011 4	0.045 3±0.000 5	0.014 7±0.000 4	343.0±80.0	291.0±9.0	286.0±3.0	294.0±8.0	98	286.0±3.0
Kp004-31	11.0	92	183	0.50	0.055 6±0.002 3	0.358 2±0.014 6	0.046 7±0.000 7	0.014 9±0.000 4	435.0±91.0	311.0±11.0	294.0±4.0	299.0±9.0	94	294.0±4.0
Kp004-32	43.9	313	769	0.41	0.053 3±0.001 3	0.334 0±0.007 9	0.045 2±0.000 4	0.014 2±0.000 3	339.0±56.0	293.0±6.0	285.0±3.0	285.0±6.0	97	285.0±3.0
Kp004-33	14.7	129	266	0.48	0.056 8±0.002 0	0.334 8±0.011 8	0.042 6±0.000 5	0.013 7±0.000 3	483.0±47.0	293.0±9.0	269.0±3.0	274.0±7.0	91	269.0±3.0
Kp004-35	13.4	138	223	0.62	0.054 9±0.002 1	0.353 0±0.013 2	0.046 7±0.000 5	0.013 8±0.000 4	406.0±92.0	307.0±10.0	294.0±3.0	277.0±7.0	95	294.0±3.0
Kp004-36	68.7	751	1 177	0.64	0.055 7±0.001 2	0.342 5±0.007 0	0.044 5±0.000 4	0.013 8±0.000 3	439.0±48.0	299.0±5.0	281.0±3.0	278.0±5.0	93	281.0±3.0
Kp004-37	10.8	98	173	0.57	0.051 6±0.002 2	0.350 6±0.015 2	0.049 8±0.000 6	0.016 0±0.000 5	333.0±100.0	305.0±11.0	313.0±4.0	320.0±9.0	97	313.0±4.0

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp004-38	8.7	103	151	0.68	0.071 4±0.004 3	0.415 3±0.024 5	0.042 0±0.000 7	0.015 2±0.000 6	969.0±122.0	353.0±18.0	265.0±4.0	304.0±12.0	71	
Kp004-42	11.3	104	210	0.50	0.053 3±0.002 5	0.312 3±0.014 8	0.042 5±0.000 6	0.013 7±0.000 5	343.0±110.0	276.0±11.0	268.0±4.0	274.0±10.0	97	268.0±4.0
Kp004-43	14.2	142	245	0.58	0.053 1±0.002 3	0.337 9±0.014 0	0.047 0±0.000 7	0.015 4±0.000 4	345.0±96.0	296.0±11.0	296.0±5.0	309.0±8.0	99	296.0±5.0
Kp004-44	7.0	64	118	0.54	0.056 7±0.003 0	0.355 0±0.018 1	0.046 0±0.000 7	0.015 1±0.000 5	480.0±114.0	308.0±14.0	290.0±4.0	304.0±11.0	93	290.0±4.0
Kp004-45	41.9	367	694	0.53	0.055 5±0.001 3	0.363 2±0.008 7	0.047 4±0.000 5	0.015 4±0.000 3	435.0±50.0	315.0±7.0	299.0±3.0	310.0±6.0	94	299.0±3.0
Kp004-47	8.5	67	151	0.44	0.055 4±0.002 7	0.337 3±0.015 5	0.045 1±0.000 6	0.014 9±0.000 6	428.0±107.0	295.0±12.0	284.0±4.0	299.0±13.0	96	284.0±4.0
Kp004-48	6.6	51	116	0.44	0.053 9±0.002 3	0.337 2±0.014 0	0.046 1±0.000 6	0.014 1±0.000 5	369.0±64.0	295.0±11.0	290.0±4.0	283.0±9.0	98	290.0±4.0
Kp004-49	41.4	389	822	0.47	0.055 9±0.001 6	0.309 9±0.009 7	0.040 2±0.000 4	0.012 3±0.000 3	456.0±60.0	274.0±8.0	254.0±2.0	247.0±6.0	92	254.0±2.0
Kp004-50	9.9	114	160	0.71	0.065 3±0.002 5	0.408 8±0.015 2	0.045 8±0.000 5	0.014 6±0.000 5	783.0±81.0	348.0±11.0	289.0±3.0	294.0±9.0	81	
Kp004-53	9.7	98	188	0.52	0.072 4±0.003 1	0.385 9±0.015 3	0.039 4±0.000 6	0.014 5±0.000 5	998.0±87.0	331.0±11.0	249.0±4.0	290.0±10.0	71	
Kp004-54	10.5	82	189	0.44	0.052 7±0.002 2	0.327 7±0.013 1	0.045 4±0.000 5	0.015 3±0.000 5	317.0±96.0	288.0±10.0	286.0±3.0	306.0±9.0	99	286.0±3.0
Kp004-57	32.7	225	632	0.36	0.052 1±0.001 4	0.307 6±0.008 1	0.042 8±0.000 4	0.013 3±0.000 3	300.0±61.0	272.0±6.0	270.0±2.0	268.0±6.0	99	270.0±2.0
Kp004-58	5.9	60	106	0.56	0.056 2±0.002 9	0.330 8±0.016 8	0.043 1±0.000 8	0.014 7±0.000 5	461.0±113.0	290.0±13.0	272.0±5.0	294.0±10.0	93	272.0±5.0
Kp004-61	12.0	107	206	0.52	0.055 2±0.001 9	0.355 7±0.011 9	0.046 8±0.000 5	0.015 2±0.000 4	433.0±74.0	309.0±9.0	295.0±3.0	305.0±8.0	95	295.0±3.0
Kp004-62	7.1	67	121	0.56	0.054 0±0.002 2	0.349 0±0.014 5	0.047 0±0.000 5	0.015 0±0.000 4	372.0±93.0	304.0±11.0	296.0±3.0	300.0±9.0	97	296.0±3.0
Kp004-60-2	7.6	88	138	0.64	0.058 8±0.002 8	0.348 0±0.016 0	0.042 8±0.000 6	0.013 5±0.000 4	561.0±102.0	303.0±12.0	270.0±4.0	272.0±8.0	88	
Kp004-64	13.8	129	265	0.49	0.061 5±0.002 1	0.353 1±0.011 9	0.041 5±0.000 5	0.014 2±0.000 5	657.0±72.0	307.0±9.0	262.0±3.0	284.0±9.0	84	
Kp004-65	5.4	53	91	0.58	0.052 9±0.002 6	0.340 2±0.016 9	0.046 8±0.000 7	0.015 0±0.000 5	324.0±113.0	297.0±13.0	295.0±4.0	301.0±10.0	99	295.0±4.0
Kp004-68	7.4	59	132	0.45	0.053 6±0.002 8	0.336 7±0.018 8	0.045 3±0.000 6	0.015 2±0.000 6	367.0±121.0	295.0±14.0	285.0±4.0	305.0±12.0	96	285.0±4.0
Kp004-69	14.3	132	251	0.52	0.054 2±0.002 2	0.335 3±0.013 5	0.044 8±0.000 6	0.014 8±0.000 4	389.0±95.0	294.0±10.0	282.0±3.0	297.0±9.0	96	282.0±3.0
Kp004-70	7.4	180	242	0.74	0.085 1±0.003 7	0.249 7±0.010 9	0.022 0±0.000 6	0.008 3±0.000 3	1 320.0±90.0	226.0±9.0	140.0±4.0	167.0±6.0	52	
Kp004-71	36.4	391	660	0.59	0.054 3±0.001 6	0.326 1±0.010 3	0.043 4±0.000 5	0.013 5±0.000 3	387.0±67.0	287.0±8.0	274.0±3.0	270.0±6.0	95	274.0±3.0
Kp004-72	39.4	605	771	0.78	0.058 9±0.001 4	0.311 7±0.007 5	0.038 3±0.000 4	0.011 3±0.000 3	565.0±45.0	276.0±6.0	242.0±2.0	227.0±5.0	87	
Kp004-74	8.5	65	151	0.43	0.054 1±0.002 6	0.342 0±0.016 6	0.045 8±0.000 8	0.015 2±0.000 6	376.0±107.0	299.0±13.0	289.0±5.0	305.0±11.0	96	289.0±5.0
Kp004-75	16.5	129	285	0.45	0.053 3±0.001 8	0.344 0±0.011 8	0.046 7±0.000 5	0.015 7±0.000 4	343.0±76.0	300.0±9.0	294.0±3.0	315.0±8.0	98	294.0±3.0
Kp004-76	14.6	132	238	0.55	0.055 4±0.002 2	0.362 0±0.014 2	0.047 5±0.000 6	0.016 4±0.000 5	428.0±92.0	314.0±11.0	299.0±3.0	329.0±10.0	95	299.0±3.0
Kp004-79	11.5	93	208	0.45	0.055 5±0.002 3	0.337 3±0.014 0	0.044 2±0.000 5	0.014 6±0.000 4	432.0±88.0	295.0±11.0	279.0±3.0	292.0±9.0	94	279.0±3.0
Kp004-80	15.6	155	263	0.59	0.052 6±0.001 8	0.329 5±0.011 3	0.045 4±0.000 4	0.014 7±0.000 4	322.0±80.0	289.0±9.0	286.0±3.0	294.0±8.0	99	286.0±3.0
Kp004-81	23.4	267	397	0.67	0.053 0±0.001 4	0.323 0±0.008 6	0.044 2±0.000 4	0.013 7±0.000 3	328.0±27.0	284.0±7.0	279.0±3.0	276.0±6.0	98	279.0±3.0
Kp004-82	20.9	217	339	0.64	0.053 2±0.001 7	0.345 9±0.011 0	0.047 5±0.000 6	0.014 7±0.000 3	345.0±72.0	302.0±8.0	299.0±4.0	296.0±7.0	99	299.0±4.0
Kp004-83	57.0	578	1 012	0.57	0.054 8±0.001 4	0.332 9±0.008 3	0.044 1±0.000 6	0.013 2±0.000 4	406.0±57.0	292.0±6.0	278.0±4.0	265.0±7.0	95	278.0±4.0
Kp004-84	17.8	158	327	0.48	0.074 0±0.003 1	0.407 0±0.017 2	0.040 6±0.000 7	0.016 4±0.000 5	1 043.0±84.0	347.0±12.0	256.0±4.0	329.0±11.0	70	
Kp004-85	5.2	54	90	0.60	0.054 9±0.002 9	0.330 0±0.017 3	0.044 4±0.000 7	0.014 7±0.000 5	406.0±119.0	290.0±13.0	280.0±4.0	294.0±10.0	96	280.0±4.0
Kp004-86	57.9	930	944	0.99	0.052 7±0.001 3	0.321 1±0.009 0	0.044 0±0.000 6	0.013 8±0.000 4	322.0±56.0	283.0±7.0	278.0±4.0	277.0±7.0	98	278.0±4.0
Kp004-87	30.6	344	483	0.71	0.052 6±0.001 6	0.339 3±0.010 1	0.046 6±0.000 4	0.014 7±0.000 3	322.0±73.0	297.0±8.0	294.0±3.0	295.0±6.0	99	294.0±3.0
Kp004-88	32.0	313	544	0.57	0.052 4±0.001 3	0.325 5±0.008 2	0.045 1±0.000 4	0.014 1±0.000 3	302.0±62.0	286.0±6.0	285.0±2.0	283.0±5.0	99	285.0±2.0
Kp004-91	8.5	109	197	0.56	0.060 9±0.003 1	0.269 8±0.012 2	0.032 7±0.000 5	0.009 7±0.000 4	639.0±109.0	243.0±10.0	208.0±3.0	195.0±7.0	84	
Kp004-92	17.8	183	305	0.60	0.053 1±0.001 8	0.330 2±0.011 4	0.045 5±0.000 6	0.014 1±0.000 3	332.0±76.0	290.0±9.0	287.0±4.0	284.0±7.0	99	287.0±4.0
Kp004-93	5.4	44	92	0.49	0.053 9±0.002 7	0.349 8±0.017 4	0.047 3±0.000 7	0.014 1±0.000 5	369.0±115.0	305.0±13.0	298.0±4.0	283.0±10.0	97	298.0±4.0

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp004-94	52.2	671	1 073	0.63	$0.062\ 8\pm0.001\ 3$	$0.309\ 8\pm0.005\ 9$	$0.035\ 8\pm0.000\ 3$	$0.011\ 7\pm0.000\ 3$	$702.0\pm43.0$	$274.0\pm5.0$	$227.0\pm2.0$	$235.0\pm5.0$	81	
Kp004-95	13.9	159	263	0.61	$0.070\ 2\pm0.003\ 0$	$0.371\ 4\pm0.015\ 2$	$0.038\ 4\pm0.000\ 4$	$0.014\ 2\pm0.000\ 4$	$1\ 000.0\pm82.0$	$321.0\pm11.0$	$243.0\pm3.0$	$285.0\pm8.0$	72	
Kp004-96	9.3	73	159	0.46	$0.053\ 2\pm0.002\ 3$	$0.339\ 7\pm0.014\ 2$	$0.046\ 3\pm0.000\ 6$	$0.014\ 9\pm0.000\ 5$	$339.0\pm96.0$	$297.0\pm11.0$	$292.0\pm4.0$	$298.0\pm9.0$	98	$292.0\pm4.0$
Kp004-97	38.8	401	638	0.63	$0.056\ 3\pm0.001\ 6$	$0.357\ 6\pm0.009\ 8$	$0.045\ 9\pm0.000\ 5$	$0.013\ 7\pm0.000\ 3$	$461.0\pm63.0$	$310.0\pm7.0$	$289.0\pm3.0$	$274.0\pm7.0$	92	$289.0\pm3.0$
Kp004-100	13.1	141	221	0.64	$0.052\ 9\pm0.002\ 1$	$0.320\ 3\pm0.013\ 2$	$0.043\ 7\pm0.000\ 5$	$0.014\ 4\pm0.000\ 4$	$328.0\pm93.0$	$282.0\pm10.0$	$276.0\pm3.0$	$289.0\pm9.0$	97	$276.0\pm3.0$
Kp08-1a-01	26.3	216	464	0.47	$0.051\ 7\pm0.001\ 1$	$0.314\ 7\pm0.006\ 8$	$0.044\ 0\pm0.000\ 5$	$0.013\ 2\pm0.000\ 2$	$272.0\pm41.7$	$278.0\pm5.2$	$277.0\pm3.0$	$265.0\pm4.3$	99	$277.0\pm3.0$
Kp08-1a-02	5.6	52	102	0.51	$0.051\ 9\pm0.002\ 1$	$0.292\ 7\pm0.011\ 4$	$0.041\ 0\pm0.000\ 5$	$0.013\ 5\pm0.000\ 3$	$283.0\pm92.6$	$261.0\pm8.9$	$259.0\pm3.4$	$271.0\pm6.4$	99	$259.0\pm3.4$
Kp08-1a-03	4.6	48	83	0.58	$0.052\ 5\pm0.002\ 3$	$0.307\ 0\pm0.013\ 1$	$0.042\ 7\pm0.000\ 7$	$0.013\ 7\pm0.000\ 3$	$309.0\pm97.2$	$272.0\pm10.2$	$270.0\pm4.3$	$276.0\pm6.6$	99	$270.0\pm4.3$
Kp08-1a-04	11.4	109	201	0.54	$0.057\ 1\pm0.001\ 4$	$0.331\ 6\pm0.008\ 5$	$0.042\ 3\pm0.000\ 6$	$0.014\ 7\pm0.000\ 3$	$494.0\pm55.6$	$291.0\pm6.5$	$267.0\pm3.5$	$294.0\pm6.2$	91	$267.0\pm3.5$
Kp08-1a-05	5.5	52	98	0.53	$0.048\ 6\pm0.002\ 1$	$0.285\ 8\pm0.012\ 4$	$0.042\ 8\pm0.000\ 7$	$0.013\ 6\pm0.000\ 3$	$128.0\pm104.0$	$255.0\pm9.8$	$270.0\pm4.1$	$272.0\pm6.6$	94	$270.0\pm4.1$
Kp08-1a-06	9.7	108	161	0.67	$0.052\ 3\pm0.001\ 5$	$0.318\ 1\pm0.008\ 9$	$0.044\ 1\pm0.000\ 6$	$0.014\ 4\pm0.000\ 3$	$298.0\pm66.7$	$280.0\pm6.8$	$278.0\pm3.9$	$289.0\pm6.1$	99	$278.0\pm3.9$
Kp08-1a-07	9.6	72	163	0.44	$0.072\ 7\pm0.002\ 7$	$0.435\ 9\pm0.016\ 1$	$0.043\ 5\pm0.000\ 7$	$0.019\ 2\pm0.000\ 7$	$1\ 006.0\pm75.9$	$367.0\pm11.4$	$275.0\pm4.4$	$383.0\pm13.2$	71	
Kp08-1a-08	3.3	44	54	0.82	$0.052\ 0\pm0.002\ 7$	$0.314\ 8\pm0.016\ 6$	$0.043\ 9\pm0.000\ 8$	$0.014\ 0\pm0.000\ 3$	$287.0\pm153.0$	$278.0\pm12.8$	$277.0\pm4.7$	$282.0\pm6.8$	99	$277.0\pm4.7$
Kp08-1a-09	4.5	36	79	0.45	$0.052\ 3\pm0.002\ 6$	$0.318\ 0\pm0.015\ 7$	$0.044\ 1\pm0.000\ 7$	$0.017\ 0\pm0.000\ 6$	$298.0\pm113.0$	$280.0\pm12.1$	$278.0\pm4.1$	$340.0\pm11.7$	99	$278.0\pm4.1$
Kp08-1a-10	8.4	83	148	0.56	$0.052\ 4\pm0.001\ 6$	$0.326\ 5\pm0.009\ 8$	$0.044\ 7\pm0.000\ 6$	$0.014\ 3\pm0.000\ 3$	$302.0\pm68.5$	$287.0\pm7.5$	$282.0\pm3.4$	$287.0\pm5.2$	98	$282.0\pm3.4$
Kp08-1a-11	12.9	120	233	0.51	$0.051\ 8\pm0.001\ 3$	$0.322\ 3\pm0.008\ 3$	$0.045\ 0\pm0.000\ 6$	$0.014\ 2\pm0.000\ 2$	$276.0\pm55.5$	$284.0\pm6.4$	$284.0\pm3.6$	$286.0\pm5.0$	99	$284.0\pm3.6$
Kp08-1a-12	7.7	65	145	0.45	$0.052\ 3\pm0.001\ 6$	$0.319\ 4\pm0.009\ 8$	$0.044\ 3\pm0.000\ 5$	$0.014\ 5\pm0.000\ 3$	$298.0\pm67.6$	$281.0\pm7.5$	$280.0\pm3.3$	$290.0\pm6.7$	99	$280.0\pm3.3$
Kp08-1a-13	7.5	59	129	0.46	$0.053\ 3\pm0.002\ 0$	$0.339\ 6\pm0.011\ 7$	$0.046\ 8\pm0.000\ 8$	$0.017\ 4\pm0.000\ 5$	$343.0\pm87.0$	$297.0\pm8.9$	$295.0\pm5.1$	$348.0\pm9.6$	99	$295.0\pm5.1$
Kp08-1a-14	5.5	45	98	0.46	$0.053\ 1\pm0.001\ 8$	$0.335\ 4\pm0.011\ 3$	$0.046\ 3\pm0.000\ 6$	$0.015\ 9\pm0.000\ 4$	$345.0\pm75.9$	$294.0\pm8.6$	$292.0\pm3.9$	$318.0\pm7.7$	99	$292.0\pm3.9$
Kp08-1a-15	5.5	45	99	0.45	$0.052\ 4\pm0.002\ 7$	$0.335\ 0\pm0.018\ 0$	$0.046\ 5\pm0.000\ 8$	$0.015\ 4\pm0.000\ 5$	$302.0\pm114.0$	$293.0\pm13.7$	$293.0\pm5.0$	$308.0\pm10.2$	99	$293.0\pm5.0$
Kp08-1a-16	4.9	56	80	0.70	$0.052\ 4\pm0.003\ 6$	$0.342\ 5\pm0.024\ 2$	$0.047\ 4\pm0.000\ 8$	$0.015\ 7\pm0.000\ 5$	$302.0\pm156.0$	$299.0\pm18.3$	$299.0\pm4.7$	$316.0\pm10.5$	99	$299.0\pm4.7$
Kp08-1a-19	13.8	134	254	0.53	$0.051\ 1\pm0.001\ 3$	$0.311\ 6\pm0.008\ 2$	$0.044\ 1\pm0.000\ 5$	$0.013\ 8\pm0.000\ 3$	$256.0\pm59.2$	$275.0\pm6.4$	$278.0\pm3.0$	$278.0\pm5.3$	98	$278.0\pm3.0$
Kp08-1a-20	35.0	474	614	0.77	$0.054\ 8\pm0.001\ 1$	$0.329\ 1\pm0.007\ 1$	$0.043\ 5\pm0.000\ 5$	$0.013\ 4\pm0.000\ 2$	$467.0\pm44.4$	$289.0\pm5.4$	$274.0\pm3.3$	$268.0\pm4.7$	94	$274.0\pm3.3$
Kp08-1a-21	9.6	86	159	0.54	$0.055\ 2\pm0.001\ 8$	$0.355\ 5\pm0.010\ 5$	$0.047\ 1\pm0.000\ 6$	$0.016\ 2\pm0.000\ 4$	$420.0\pm75.0$	$309.0\pm7.8$	$297.0\pm3.7$	$326.0\pm8.3$	95	$297.0\pm3.7$
Kp08-1a-22	6.0	50	104	0.48	$0.052\ 7\pm0.002\ 2$	$0.344\ 5\pm0.015\ 7$	$0.047\ 1\pm0.000\ 8$	$0.014\ 9\pm0.000\ 4$	$322.0\pm94.4$	$301.0\pm11.9$	$297.0\pm5.2$	$299.0\pm7.8$	98	$297.0\pm5.2$
Kp08-1a-24	4.2	36	76	0.47	$0.051\ 8\pm0.002\ 0$	$0.317\ 1\pm0.012\ 9$	$0.044\ 3\pm0.000\ 7$	$0.012\ 8\pm0.000\ 3$	$276.0\pm86.1$	$280.0\pm9.9$	$280.0\pm4.1$	$257.0\pm7.0$	99	$280.0\pm4.1$
Kp08-1a-25	29.6	362	500	0.72	$0.052\ 6\pm0.001\ 1$	$0.334\ 7\pm0.007\ 6$	$0.046\ 2\pm0.000\ 7$	$0.013\ 1\pm0.000\ 3$	$322.0\pm50.0$	$293.0\pm5.8$	$291.0\pm4.3$	$263.0\pm5.6$	99	$291.0\pm4.3$
Kp08-1a-26	20.7	238	366	0.65	$0.051\ 9\pm0.001\ 0$	$0.310\ 8\pm0.006\ 3$	$0.043\ 3\pm0.000\ 5$	$0.012\ 6\pm0.000\ 2$	$280.0\pm44.4$	$275.0\pm4.9$	$274.0\pm2.9$	$253.0\pm3.9$	99	$274.0\pm2.9$
Kp08-1a-27	14.1	125	245	0.51	$0.052\ 2\pm0.001\ 2$	$0.331\ 3\pm0.008\ 3$	$0.045\ 9\pm0.000\ 6$	$0.014\ 0\pm0.000\ 3$	$300.0\pm55.6$	$291.0\pm6.3$	$290.0\pm3.4$	$282.0\pm5.3$	99	$290.0\pm3.4$
Kp08-1a-28	10.4	122	189	0.65	$0.052\ 0\pm0.002\ 0$	$0.303\ 9\pm0.012\ 2$	$0.042\ 4\pm0.000\ 8$	$0.013\ 3\pm0.000\ 4$	$287.0\pm88.9$	$269.0\pm9.5$	$268.0\pm4.9$	$266.0\pm7.1$	99	$268.0\pm4.9$
Kp08-1a-29	9.4	108	160	0.68	$0.051\ 5\pm0.002\ 1$	$0.334\ 8\pm0.014\ 7$	$0.046\ 2\pm0.000\ 8$	$0.014\ 7\pm0.000\ 3$	$261.0\pm94.4$	$293.0\pm11.2$	$291.0\pm5.2$	$296.0\pm6.7$	99	$291.0\pm5.2$
Kp08-1a-30	8.6	73	157	0.46	$0.052\ 1\pm0.001\ 6$	$0.323\ 7\pm0.010\ 5$	$0.045\ 0\pm0.000\ 7$	$0.014\ 7\pm0.000\ 3$	$300.0\pm72.2$	$285.0\pm8.0$	$283.0\pm4.3$	$295.0\pm6.7$	99	$283.0\pm4.3$
Kp08-1a-31	5.2	37	95	0.39	$0.052\ 2\pm0.002\ 2$	$0.329\ 1\pm0.013\ 8$	$0.045\ 8\pm0.000\ 7$	$0.014\ 8\pm0.000\ 4$	$300.0\pm96.3$	$289\pm10.5$	$289.0\pm4.5$	$297.0\pm7.5$	99	$289.0\pm4.5$
Kp08-1a-32	15.1	141	268	0.53	$0.051\ 4\pm0.001\ 3$	$0.320\ 3\pm0.008\ 1$	$0.045\ 1\pm0.000\ 5$	$0.014\ 3\pm0.000\ 3$	$257.0\pm55.5$	$282.0\pm6.2$	$284.0\pm3.3$	$288.0\pm5.3$	99	$284.0\pm3.3$
Kp08-1a-33	8.7	93	151	0.61	$0.052\ 4\pm0.001\ 4$	$0.321\ 5\pm0.008\ 4$	$0.044\ 4\pm0.000\ 5$	$0.014\ 0\pm0.000\ 3$	$306.0\pm59.3$	$283.0\pm6.4$	$280.0\pm2.9$	$281.0\pm5.2$	98	$280.0\pm2.9$
Kp08-1a-34	6.1	68	108	0.63	$0.052\ 0\pm0.001\ 9$	$0.321\ 8\pm0.012\ 4$	$0.044\ 4\pm0.000\ 7$	$0.014\ 3\pm0.000\ 4$	$287.0\pm78.7$	$283.0\pm9.5$	$280.0\pm4.3$	$288.0\pm7.6$	98	$280.0\pm4.3$
Kp08-1a-35	12.8	120	247	0.49	$0.051\ 6\pm0.001\ 6$	$0.296\ 7\pm0.009\ 7$	$0.041\ 5\pm0.000\ 7$	$0.012\ 7\pm0.000\ 3$	$333.0\pm73.1$	$264.0\pm7.6$	$262.0\pm4.3$	$256.0\pm5.7$	99	$262.0\pm4.3$
Kp08-1a-36	31.0	427	528	0.81	$0.061\ 5\pm0.001\ 6$	$0.356\ 7\pm0.009\ 9$	$0.041\ 9\pm0.000\ 6$	$0.014\ 0\pm0.000\ 3$	$657.0\pm55.6$	$310.0\pm7.4$	$265.0\pm3.5$	$281.0\pm5.3$	84	
Kp08-1a-37	12.3	135	218	0.62	$0.052\ 0\pm0.001\ 4$	$0.305\ 8\pm0.007\ 8$	$0.042\ 8\pm0.000\ 6$	$0.013\ 8\pm0.000\ 3$	$287.0\pm56.5$	$271.0\pm6.1$	$270.0\pm3.6$	$278.0\pm5.7$	99	$270.0\pm3.6$

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp08-1a-38	7.7	79	138	0.57	0.052 4±0.001 5	0.308 6±0.008 5	0.043 0±0.000 6	0.013 3±0.000 3	302.0±64.8	273.0±6.6	271.0±3.5	266.0±5.2	99	271.0±3.5
Kp08-1a-39	10.3	90	187	0.48	0.052 1±0.001 5	0.308 4±0.008 7	0.042 9±0.000 5	0.013 8±0.000 3	300.0±63.0	273.0±6.7	271.0±3.2	276.0±6.2	99	271.0±3.2
Kp08-1a-40	5.4	42	98	0.43	0.051 9±0.001 8	0.318 0±0.011 3	0.044 2±0.000 6	0.014 5±0.000 4	280.0±84.2	280.0±8.7	279.0±3.6	291.0±7.8	99	279.0±3.6
Kp08-1a-41	6.7	57	121	0.47	0.052 3±0.001 9	0.312 5±0.011 0	0.043 7±0.000 6	0.013 7±0.000 3	298.0±86.1	276.0±8.5	276.0±3.9	275.0±6.2	99	276.0±3.9
Kp08-1a-42	9.7	119	180	0.66	0.052 8±0.001 5	0.297 6±0.008 2	0.040 8±0.000 5	0.012 4±0.000 2	320.0±65.7	265.0±6.4	258.0±2.9	249.0±4.7	97	258.0±2.9
Kp08-1a-43	49.5	489	888	0.55	0.052 5±0.001 0	0.320 0±0.006 2	0.043 9±0.000 5	0.013 6±0.000 2	309.0±42.6	282.0±4.7	277.0±2.8	273.0±4.2	98	277.0±2.8
Kp08-1a-44	5.4	47	102	0.46	0.055 6±0.002 3	0.319 1±0.015 2	0.041 7±0.000 9	0.016 2±0.000 7	435.0±94.4	281.0±11.7	263.0±5.7	325.0±13.3	93	263.0±5.7
Kp08-1a-45	7.5	97	128	0.76	0.057 8±0.002 1	0.341 7±0.011 5	0.043 2±0.000 7	0.014 0±0.000 3	520.0±79.6	298.0±8.7	273.0±4.4	280.0±6.2	90	
Kp08-1a-46	7.1	55	126	0.44	0.052 2±0.001 8	0.327 2±0.012 1	0.045 2±0.000 7	0.014 5±0.000 4	295.0±81.5	287.0±9.3	285.0±4.3	291.0±8.7	99	285.0±4.3
Kp08-1a-47	7.5	83	127	0.65	0.051 8±0.001 9	0.333 4±0.012 2	0.045 5±0.000 6	0.014 1±0.000 3	280.0±86.1	292.0±9.3	287.0±3.7	283.0±6.0	98	287.0±3.7
Kp08-1a-48	8.9	74	152	0.49	0.053 7±0.001 7	0.345 7±0.011 8	0.046 7±0.000 6	0.015 6±0.000 4	367.0±72.2	301.0±8.9	294.0±4.0	313.0±8.3	97	294.0±4.0
Kp08-1a-49	11.1	101	198	0.51	0.051 9±0.001 5	0.319 7±0.009 5	0.044 5±0.000 5	0.014 0±0.000 3	280.0±66.7	282.0±7.3	281.0±3.2	281.0±5.7	99	281.0±3.2
Kp08-1a-50	8.6	115	145	0.79	0.052 3±0.002 0	0.322 1±0.012 2	0.044 6±0.000 7	0.013 8±0.000 3	302.0±85.2	284.0±9.4	281.0±4.2	276.0±5.7	99	281.0±4.2
Kp08-1a-51	12.9	121	233	0.52	0.052 8±0.001 3	0.318 5±0.008 6	0.043 6±0.000 5	0.014 2±0.000 3	320.0±57.4	281.0±6.6	275.0±3.2	286.0±5.5	98	275.0±3.2
Kp08-1a-52	4.7	55	83	0.66	0.053 8±0.002 3	0.309 4±0.011 1	0.042 4±0.000 9	0.014 3±0.000 5	361.0±94.4	274.0±8.6	268.0±5.6	286.0±10.6	97	268.0±5.6
Kp08-1a-53	5.9	55	114	0.48	0.051 6±0.002 0	0.289 4±0.010 9	0.040 6±0.000 7	0.013 9±0.000 3	333.0±88.9	258.0±8.6	257.0±4.2	278.0±6.7	99	257.0±4.2
Kp08-1a-54	3.2	30	57	0.52	0.052 4±0.002 5	0.315 0±0.014 7	0.044 1±0.000 8	0.013 3±0.000 4	306.0±109	278.0±11.3	279.0±5.0	267.0±8.1	99	279.0±5.0
Kp08-1a-55	6.5	56	117	0.48	0.052 4±0.001 9	0.315 5±0.011 7	0.043 4±0.000 6	0.013 7±0.000 3	306.0±81.5	278.0±9.0	274.0±3.7	275.0±6.3	98	274.0±3.7
Kp08-1a-56	6.5	62	107	0.58	0.052 7±0.001 8	0.336 5±0.012 1	0.046 4±0.000 7	0.014 4±0.000 3	317.0±79.6	295.0±9.2	292.0±4.1	289.0±6.4	99	292.0±4.1
Kp08-1a-57	4.9	50	91	0.55	0.052 0±0.002 6	0.304 4±0.016 1	0.042 2±0.000 6	0.013 2±0.000 4	287.0±115.0	270.0±12.5	267.0±3.6	266.0±7.2	98	267.0±3.6
Kp08-1a-58	4.3	36	78	0.46	0.053 2±0.002 0	0.315 4±0.011 3	0.043 5±0.000 6	0.013 1±0.000 4	345.0±80.5	278.0±8.8	274.0±3.5	263.0±7.4	98	274.0±3.5
Kp08-1a-59	3.8	33	64	0.51	0.052 1±0.002 8	0.333 4±0.018 7	0.046 1±0.000 7	0.014 1±0.000 5	300.0±124.0	292.0±14.2	290.0±4.2	284.0±9.3	99	290.0±4.2
Kp08-1a-60	4.9	47	84	0.56	0.050 7±0.002 2	0.313 2±0.013 8	0.044 8±0.000 7	0.014 1±0.000 5	233.0±102.0	277.0±10.6	283.0±4.1	284.0±9.6	97	283.0±4.1
Kp08-1a-61	13.1	114	235	0.49	0.052 0±0.001 4	0.314 3±0.008 3	0.044 0±0.000 5	0.013 4±0.000 3	283.0±54.6	278.0±6.4	278.0±3.3	268.0±5.5	99	278.0±3.3
Kp08-1a-62	8.8	85	144	0.59	0.055 0±0.002 3	0.349 0±0.014 3	0.046 4±0.000 8	0.015 0±0.000 4	413.0±92.6	304.0±10.8	292.0±4.9	300.0±7.1	96	292.0±4.9
Kp08-1a-63	4.8	36	86	0.42	0.052 4±0.002 2	0.323 9±0.013 5	0.045 1±0.000 7	0.014 0±0.000 4	302.0±91.7	285.0±10.3	285.0±4.1	281.0±8.5	99	285.0±4.1
Kp08-1a-64	12.6	126	218	0.58	0.052 2±0.001 3	0.335 1±0.009 9	0.046 2±0.000 6	0.014 0±0.000 3	295.0±55.6	293.0±7.5	291.0±4.0	280.0±5.9	99	291.0±4.0
Kp08-1a-65	10.9	98	195	0.50	0.052 3±0.001 5	0.319 6±0.008 8	0.044 4±0.000 5	0.013 3±0.000 2	298.0±63.0	282.0±6.8	280.0±3.1	268.0±4.8	99	280.0±3.1
Kp08-1a-66	6.0	54	107	0.50	0.052 5±0.001 8	0.320 1±0.010 7	0.044 7±0.000 6	0.013 7±0.000 3	306.0±75.0	282.0±8.2	282.0±3.5	275.0±6.2	99	282.0±3.5
Kp08-1a-67	8.7	97	156	0.62	0.051 6±0.002 3	0.306 6±0.014 6	0.042 8±0.000 7	0.013 7±0.000 4	333.0±100.0	272.0±11.4	270.0±4.3	275.0±8.4	99	270.0±4.3
Kp08-1a-68	9.5	94	158	0.59	0.052 1±0.001 8	0.351 1±0.014 4	0.047 4±0.000 7	0.015 2±0.000 4	300.0±79.6	306.0±10.8	299.0±4.2	305.0±7.3	97	299.0±4.2
Kp08-1a-70	12.3	118	225	0.52	0.052 1±0.001 3	0.313 3±0.008 2	0.043 5±0.000 5	0.012 0±0.000 3	300.0±59.3	277.0±6.4	275.0±3.2	242.0±5.1	99	275.0±3.2
Kp08-1a-71	6.0	45	110	0.41	0.051 8±0.001 9	0.317 6±0.011 9	0.044 5±0.000 5	0.012 2±0.000 3	276.0±88.0	280.0±9.2	281.0±3.3	244.0±6.9	99	281.0±3.3
Kp08-1a-72	10.4	91	179	0.51	0.049 5±0.002 0	0.309 1±0.011 8	0.045 5±0.000 7	0.012 6±0.000 4	169.0±92.6	273.0±9.1	287.0±4.5	254.0±7.2	95	287.0±4.5
Kp08-1a-73	13.0	124	237	0.52	0.052 0±0.001 8	0.313 4±0.010 9	0.043 8±0.000 8	0.011 5±0.000 3	287.0±77.8	277.0±8.4	276.0±4.7	232.0±5.7	99	276.0±4.7
Kp08-1a-74	31.1	337	527	0.64	0.050 0±0.000 9	0.316 3±0.006 0	0.045 8±0.000 5	0.012 4±0.000 2	195.0±42.6	279.0±4.6	289.0±3.1	250.0±4.4	96	289.0±3.1
Kp08-1a-75	5.6	60	102	0.59	0.052 1±0.001 9	0.309 8±0.011 1	0.043 6±0.000 7	0.012 2±0.000 3	300.0±80.5	274.0±8.6	275.0±4.4	245.0±6.0	99	275.0±4.4
Kp08-1a-76	9.4	100	165	0.60	0.052 3±0.001 5	0.333 4±0.010 8	0.046 2±0.000 7	0.013 1±0.000 3	298.0±68.5	292.0±8.2	291.0±4.5	264.0±6.8	99	291.0±4.5
Kp08-1a-77	12.6	121	218	0.55	0.052 5±0.001 3	0.332 1±0.008 6	0.045 9±0.000 6	0.012 8±0.000 3	309.0±54.6	291.0±6.6	290.0±3.5	256.0±5.0	99	290.0±3.5



续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp08-1a-79	5.0	54	86	0.63	0.051 9±0.001 7	0.318 0±0.011 2	0.044 3±0.000 6	0.012 7±0.000 3	283.0±77.8	280.0±8.6	280.0±3.7	255.0±6.3	99	280.0±3.7
Kp08-1a-80	4.5	49	78	0.62	0.053 9±0.002 5	0.338 8±0.014 7	0.045 8±0.000 8	0.013 7±0.000 4	365.0±110.0	296.0±11.2	289.0±4.8	276.0±7.4	97	289.0±4.8
Kp08-1a-81	9.5	92	159	0.58	0.052 2±0.001 5	0.331 4±0.009 8	0.045 9±0.000 6	0.015 5±0.000 3	295.0±69.4	291.0±7.5	289.0±3.9	310.0±6.6	99	289.0±3.9
Kp08-1a-82	10.8	126	162	0.77	0.124 6±0.007 9	0.832 1±0.059 6	0.046 9±0.000 8	0.017 9±0.000 9	2 033.0±112.0	615.0±33.0	295.0±4.9	359.0±17.4	29	
Kp08-1a-83	13.2	135	231	0.58	0.050 8±0.001 5	0.317 7±0.008 0	0.045 4±0.000 6	0.013 4±0.000 3	232.0±64.8	280.0±6.2	286.0±3.5	270.0±5.0	97	286.0±3.5
Kp08-1a-84	6.4	61	115	0.53	0.053 1±0.003 7	0.321 1±0.022 5	0.043 8±0.000 7	0.014 5±0.000 5	332.0±159.0	283.0±17.3	276.0±4.2	290.0±10.7	97	276.0±4.2
Kp08-1a-85	10.7	99	179	0.55	0.052 5±0.001 6	0.343 0±0.010 9	0.047 5±0.000 6	0.015 1±0.000 3	306.0±70.4	299.0±8.2	299.0±4.0	303.0±6.8	99	299.0±4.0
Kp08-1a-86	5.0	44	84	0.52	0.053 5±0.002 1	0.335 1±0.012 1	0.045 9±0.000 6	0.015 1±0.000 4	350.0±87.0	293.0±9.2	289.0±3.7	304.0±8.0	98	289.0±3.7
Kp08-1a-87	7.9	75	129	0.58	0.052 7±0.001 6	0.347 0±0.011 4	0.047 6±0.000 6	0.014 1±0.000 3	317.0±72.2	302.0±8.6	299.0±3.8	284.0±6.9	99	299.0±3.8
Kp08-1a-89	4.9	42	81	0.52	0.051 8±0.002 3	0.328 1±0.014 6	0.046 1±0.000 8	0.013 5±0.000 4	276.0±100.0	288.0±11.1	290.0±4.6	271.0±8.4	99	290.0±4.6
Kp08-1a-90	6.9	56	125	0.45	0.051 9±0.002 2	0.313 7±0.013 6	0.043 7±0.000 7	0.013 7±0.000 4	280.0±93.5	277.0±10.5	276.0±4.6	274.0±8.3	99	276.0±4.6
Kp08-1a-91	7.5	87	135	0.64	0.052 3±0.002 2	0.305 7±0.013 1	0.042 1±0.000 7	0.012 2±0.000 4	298.0±96.3	271.0±10.2	266.0±4.5	245.0±7.7	98	266.0±4.5
Kp08-1a-92	7.8	86	135	0.64	0.054 1±0.001 7	0.317 0±0.010 3	0.042 6±0.000 7	0.013 3±0.000 6	376.0±70.4	280.0±7.9	269.0±4.5	267.0±11.8	96	269.0±4.5
Kp08-1a-94	7.0	69	121	0.57	0.051 4±0.002 1	0.313 8±0.012 5	0.044 0±0.000 6	0.013 0±0.000 3	257.0±91.7	277.0±9.6	278.0±3.7	261.0±5.6	99	278.0±3.7
Kp08-1a-95	7.6	62	131	0.48	0.052 2±0.001 6	0.329 7±0.009 9	0.045 4±0.000 6	0.013 8±0.000 6	300.0±73.1	289.0±7.5	286.0±3.6	278.0±11.8	98	286.0±3.6
Kp08-1a-96	20.6	236	347	0.68	0.052 5±0.001 7	0.318 9±0.010 2	0.044 1±0.000 6	0.013 2±0.000 2	309.0±78.7	281.0±7.8	278.0±3.4	265.0±5.0	98	278.0±3.4
16P02-04	12.6	53	180	0.29	0.054 5±0.004 9	0.323 4±0.025 2	0.044 7±0.001 5	0.025 0±0.005 1	391.0±206.0	284.0±19.4	282.0±9.5	498.0±101.0	99	282.0±9.5
16P02-06	31.5	266	482	0.55	0.052 8±0.003 0	0.337 6±0.016 3	0.046 7±0.001 2	0.016 0±0.000 5	320.0±134.0	295.0±12.4	295.0±7.6	320.0±10.8	99	295.0±7.6
16P02-07	11.7	112	160	0.70	0.058 0±0.005 6	0.333 5±0.026 1	0.045 7±0.001 4	0.014 3±0.000 6	528.0±213.0	292.0±19.9	288.0±8.4	286.0±12.3	98	288.0±8.4
16P02-10	20.2	105	313	0.34	0.053 7±0.003 8	0.315 3±0.020 3	0.044 1±0.001 5	0.017 2±0.000 8	367.0±159.0	278.0±15.6	278.0±9.2	345.0±15.2	99	278.0±9.2
16P02-16	33.1	169	533	0.32	0.052 3±0.003 3	0.325 8±0.020 2	0.044 9±0.001 6	0.018 0±0.000 8	298.0±143.0	286.0±15.4	283.0±9.9	360.0±16.6	98	283.0±9.9
16P02-17	21.5	156	333	0.47	0.055 4±0.003 4	0.328 9±0.018 8	0.045 2±0.001 5	0.017 4±0.000 6	432.0±137.0	289.0±14.4	285.0±9.5	348.0±11.6	98	285.0±9.5
16P02-20	15.0	67	225	0.30	0.053 9±0.004 7	0.325 9±0.026 6	0.045 2±0.001 6	0.019 4±0.001 0	365.0±200.0	286.0±20.4	285.0±9.7	389.0±20.7	99	285.0±9.7
16P02-29	20.0	137	312	0.44	0.055 3±0.004 2	0.326 6±0.022 8	0.045 7±0.002 1	0.016 7±0.000 7	433.0±166.0	287.0±17.5	288.0±12.8	334.0±14.8	99	288.0±12.8
16P02-30	5.5	39	67	0.57	0.058 4±0.008 9	0.345 5±0.049 9	0.047 3±0.001 9	0.018 0±0.001 5	546.0±341.0	301.0±37.6	298.0±11.5	360.0±29.4	98	298.0±11.5
16P02-34	9.0	67	147	0.46	0.055 3±0.005 3	0.331 6±0.029 4	0.045 4±0.001 2	0.021 9±0.001 4	433.0±217.0	291.0±22.4	286.0±7.6	439.0±26.9	98	286.0±7.6
16P02-35	9.0	58	139	0.42	0.057 3±0.005 0	0.344 6±0.029 2	0.047 3±0.001 4	0.017 4±0.000 9	502.0±193.0	301.0±22.1	298.0±8.9	349.0±18.0	99	298.0±8.9
16P02-42	14.7	90	226	0.40	0.054 0±0.004 5	0.324 9±0.024 2	0.045 1±0.001 4	0.019 7±0.001 1	372.0±187.0	286.0±18.5	284.0±8.8	395.0±21.8	99	284.0±8.8
16P02-44	10.7	38	155	0.25	0.055 6±0.006 0	0.338 5±0.033 8	0.047 3±0.002 1	0.024 8±0.002 2	435.0±243.0	296.0±25.6	298.0±13.2	495.0±42.6	99	298.0±13.2
16P02-46	11.9	90	186	0.48	0.051 1±0.003 8	0.322 0±0.023 6	0.044 9±0.001 3	0.017 1±0.000 8	243.0±170.0	283.0±18.1	283.0±8.1	343.0±16.6	99	283.0±8.1
16P02-54	6.4	45	82	0.54	0.059 1±0.005 8	0.365 8±0.031 6	0.047 4±0.001 9	0.020 5±0.001 3	572.0±214.0	317.0±23.5	298.0±11.7	410.0±26.3	94	298.0±11.7
16P02-58	16.4	89	263	0.34	0.055 4±0.003 5	0.325 6±0.018 3	0.045 3±0.001 5	0.019 9±0.002 4	428.0±144.0	286.0±14.0	285.0±9.4	398.0±47.4	99	285.0±9.4
16P02-59	3.9	31	59	0.53	0.057 1±0.012 8	0.321 6±0.043 5	0.045 2±0.002 0	0.021 4±0.001 6	494.0±430.0	283.0±33.5	285.0±12.4	429.0±32.5	99	285.0±12.4
16P02-62	34.7	276	569	0.48	0.053 8±0.003 6	0.331 8±0.020 3	0.045 8±0.001 1	0.019 3±0.000 6	365.0±152.0	291.0±15.5	289.0±6.9	387.0±10.9	99	289.0±6.9
16P02-63	7.1	61	105	0.58	0.057 7±0.006 0	0.322 7±0.025 7	0.045 0±0.001 8	0.015 4±0.001 0	520.0±228.0	284.0±19.7	284.0±11.1	309.0±20.3	99	284.0±11.1
16P02-67	5.6	37	78	0.47	0.059 9±0.005 5	0.346 8±0.027 4	0.046 3±0.001 3	0.018 6±0.001 3	611.0±198.0	302±20.7	292.0±8.1	372.0±25.0	96	292.0±8.1
16P02-71	14.2	133	219	0.61	0.051 5±0.003 7	0.339 3±0.027 3	0.046 4±0.000 8	0.017 3±0.000 6	261.0±165.0	297.0±20.7	292.0±4.7	346.0±12.9	98	292.0±4.7
16P02-78	9.2	77	146	0.53	0.053 7±0.003 4	0.329 8±0.019 3	0.045 6±0.001 0	0.016 3±0.000 7	367.0±145.0	289.0±14.7	287.0±6.1	326.0±13.7	99	287.0±6.1
16P02-83	7.6	91	113	0.80	0.052 8±0.003 8	0.337 2±0.022 1	0.046 9±0.000 8	0.016 0±0.000 5	320.0±163.0	295.0±16.8	295.0±4.7	322.0±9.0	99	295.0±4.7

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
16P02-84	6.0	33	97	0.34	0.053 4±0.004 0	0.342 7±0.023 2	0.047 1±0.001 0	0.016 1±0.001 0	346.0±172.0	299.0±17.5	297.0±6.2	324.0±20.7	99	297.0±6.2
16P02-87	12.1	132	189	0.69	0.052 7±0.003 0	0.325 3±0.017 5	0.045 1±0.000 8	0.016 6±0.000 5	322.0±125.0	286.0±13.4	284.0±4.9	334.0±9.5	99	284.0±4.9
16P02-89	9.2	61	156	0.39	0.052 7±0.003 4	0.327 7±0.020 1	0.045 7±0.000 7	0.014 8±0.000 7	317.0±148.0	288.0±15.3	288.0±4.5	298.0±13.0	99	288.0±4.5
16P02-90	4.5	54	64	0.84	0.054 6±0.004 3	0.324 8±0.022 8	0.044 9±0.001 1	0.016 3±0.000 7	394.0±176.0	286.0±17.4	283.0±7.0	326.0±14.4	99	283.0±7.0
16P02-91	6.8	48	109	0.45	0.052 1±0.003 3	0.343 2±0.022 3	0.047 5±0.000 9	0.016 8±0.000 7	300.0±114.0	300.0±16.9	299.0±5.8	337.0±13.0	99	299.0±5.8
16P02-93	6.1	73	91	0.81	0.052 8±0.003 8	0.322 9±0.021 3	0.045 0±0.000 9	0.015 8±0.000 5	317.0±163.0	284.0±16.3	284.0±5.3	316.0±10.1	99	284.0±5.3
16P02-94	8.9	67	146	0.46	0.052 9±0.002 6	0.337 1±0.015 9	0.046 5±0.000 8	0.016 0±0.000 6	328.0±113.0	295.0±12.1	293.0±4.8	321.0±11.5	99	293.0±4.8
16P02-98	7.3	69	112	0.62	0.053 3±0.003 3	0.340 0±0.018 8	0.046 9±0.000 8	0.015 5±0.000 5	343.0±141.0	297.0±14.2	295.0±4.9	310.0±10.9	99	295.0±4.9
16P02-99	14.7	164	232	0.71	0.052 7±0.001 8	0.341 7±0.011 4	0.047 2±0.000 6	0.015 4±0.000 3	317.0±77.8	298.0±8.6	297.0±3.7	309.0±6.7	99	297.0±3.7
16P02-101	10.4	103	167	0.61	0.052 5±0.002 4	0.340 3±0.015 6	0.047 0±0.000 7	0.015 2±0.000 4	306.0±105.5	297.0±11.8	296.0±4.1	305.0±7.8	99	296.0±4.1
Kp09-2-02	6.5	59	115	0.51	0.052 1±0.001 8	0.322 6±0.011 7	0.044 8±0.000 6	0.013 7±0.000 3	287.0±81.5	284.0±9.0	283.0±3.5	274.0±6.1	99	283.0±3.5
Kp09-2-04	10.8	97	195	0.50	0.052 3±0.001 8	0.317 2±0.011 2	0.043 9±0.000 6	0.013 9±0.000 4	298.0±79.6	280.0±8.7	277.0±3.9	280.0±7.5	99	277.0±3.9
Kp09-2-05	5.8	55	107	0.51	0.051 8±0.002 3	0.308 7±0.012 3	0.043 6±0.000 6	0.013 2±0.000 3	276.0±102.0	273.0±9.5	275.0±3.5	264.0±6.4	99	275.0±3.5
Kp09-2-06	5.4	57	96	0.59	0.051 8±0.002 1	0.321 2±0.013 2	0.044 7±0.000 6	0.013 3±0.000 3	280.0±92.6	283.0±10.2	282.0±3.9	267.0±6.9	99	282.0±3.9
Kp09-2-07	3.9	31	69	0.45	0.052 2±0.002 6	0.327 7±0.016 7	0.045 6±0.000 6	0.014 4±0.000 4	295.0±145.0	288.0±12.7	287.0±3.8	289.0±8.4	99	287.0±3.8
Kp09-2-08	7.1	60	128	0.47	0.052 0±0.001 8	0.324 6±0.011 5	0.045 4±0.000 6	0.014 2±0.000 3	283.0±77.8	285.0±8.8	286.0±3.7	284.0±6.9	99	286.0±3.7
Kp09-2-09	4.1	34	74	0.46	0.052 3±0.002 5	0.318 0±0.015 4	0.044 2±0.000 6	0.012 8±0.000 4	302.0±111.0	280.0±11.9	279.0±3.5	257.0±8.5	99	279.0±3.5
Kp09-2-11	5.7	45	98	0.46	0.052 8±0.001 9	0.331 0±0.013 8	0.045 6±0.000 7	0.017 5±0.000 7	317.0±118.0	290.0±10.5	287.0±4.2	350.0±13.7	99	287.0±4.2
Kp09-2-12	6.7	53	116	0.46	0.052 3±0.002 2	0.319 4±0.013 0	0.044 6±0.000 6	0.015 9±0.001 2	298.0±96.3	281.0±10.0	281.0±3.9	320.0±22.9	99	281.0±3.9
Kp09-2-13	12.9	127	232	0.55	0.052 5±0.001 5	0.304 1±0.008 5	0.042 0±0.000 5	0.013 9±0.000 3	306.0±63.0	270.0±6.6	265.0±3.0	278.0±6.2	98	265.0±3.0
Kp09-2-14	9.3	77	161	0.48	0.057 0±0.001 7	0.347 0±0.010 8	0.044 1±0.000 5	0.016 8±0.000 4	494.0±66.7	302.0±8.2	278.0±3.1	338.0±8.4	91	278.0±3.1
Kp09-2-15	6.8	60	116	0.51	0.052 6±0.001 7	0.325 6±0.010 2	0.045 0±0.000 6	0.013 7±0.000 3	322.0±72.2	286.0±7.8	284.0±3.4	274.0±6.0	99	284.0±3.4
Kp09-2-16	8.9	97	150	0.65	0.051 9±0.001 7	0.322 6±0.011 5	0.044 8±0.000 5	0.013 5±0.000 3	280.0±71.3	284.0±8.8	283.0±3.3	271.0±6.0	99	283.0±3.3
Kp09-2-18	12.3	109	209	0.52	0.050 5±0.001 7	0.321 6±0.011 4	0.046 1±0.000 7	0.013 3±0.000 3	217.0±47.2	283.0±8.8	291.0±4.1	267.0±5.6	97	291.0±4.1
Kp09-2-19	13.8	144	249	0.58	0.046 7±0.001 3	0.285 7±0.007 1	0.044 5±0.000 6	0.012 5±0.000 3	31.6±66.7	255.0±5.6	281.0±3.7	251.0±5.3	90	
Kp09-2-20	4.2	35	73	0.47	0.050 7±0.002 5	0.323 1±0.016 0	0.046 1±0.000 8	0.014 5±0.000 4	228.0±111.0	284.0±12.3	290.0±5.0	291.0±7.7	97	290.0±5.0
Kp09-2-21	9.4	79	159	0.49	0.053 4±0.001 5	0.335 0±0.009 7	0.045 4±0.000 6	0.014 9±0.000 3	343.0±64.8	293.0±7.4	286.0±3.8	300.0±6.0	97	286.0±3.8
Kp09-2-22	9.4	80	174	0.46	0.051 4±0.001 5	0.303 7±0.010 0	0.042 6±0.000 6	0.013 2±0.000 3	257.0±68.5	269.0±7.8	269.0±3.7	266.0±6.1	99	269.0±3.7
Kp09-2-23	12.7	167	212	0.79	0.052 2±0.001 2	0.315 2±0.008 3	0.043 4±0.000 6	0.013 7±0.000 2	300.0±53.7	278.0±6.4	274.0±3.4	274.0±4.8	98	274.0±3.4
Kp09-2-24	5.9	55	106	0.52	0.051 8±0.001 8	0.310 8±0.011 8	0.043 4±0.000 7	0.013 5±0.000 4	276.0±81.5	275.0±9.2	274.0±4.1	270.0±7.8	99	274.0±4.1
Kp09-2-26	10.7	89	189	0.47	0.052 4±0.001 7	0.316 5±0.011 2	0.043 8±0.000 7	0.014 4±0.000 3	306.0±71.3	279.0±8.7	276.0±4.0	289.0±5.9	99	276.0±4.0
Kp09-2-27	9.7	83	180	0.46	0.052 3±0.001 5	0.305 7±0.009 1	0.042 2±0.000 5	0.013 7±0.000 3	298.0±68.5	271.0±7.1	266.0±3.3	276.0±6.0	98	266.0±3.3
Kp09-2-28	20.1	189	362	0.52	0.051 2±0.001 2	0.298 2±0.007 0	0.042 3±0.000 5	0.013 6±0.000 2	256.0±53.7	265.0±5.4	267.0±2.8	272.0±4.7	99	267.0±2.8
Kp09-2-29	4.0	30	67	0.45	0.053 1±0.003 1	0.341 0±0.019 3	0.046 9±0.000 8	0.015 6±0.000 6	332.0±131.0	298.0±14.6	295.0±5.2	313.0±11.7	99	295.0±5.2
Kp09-2-30	10.2	98	182	0.54	0.051 6±0.001 6	0.304 7±0.009 7	0.042 9±0.000 5	0.013 4±0.000 3	333.0±74.1	270.0±7.5	271.0±2.8	270.0±5.4	99	271.0±2.8
Kp09-2-31	8.3	75	144	0.52	0.051 7±0.001 7	0.318 2±0.011 1	0.044 6±0.000 6	0.014 4±0.000 3	272.0±77.8	281.0±8.6	282.0±3.6	289.0±6.9	99	282.0±3.6
Kp09-2-32	7.8	81	129	0.63	0.053 3±0.002 0	0.341 5±0.013 5	0.046 5±0.000 8	0.016 0±0.000 4	339.0±89.8	298.0±10.2	293.0±4.7	320.0±7.7	98	293.0±4.7
Kp09-2-33	6.7	76	122	0.63	0.053 7±0.002 8	0.306 3±0.014 8	0.041 7±0.000 9	0.012 9±0.000 5	367.0±119.0	271.0±11.5	263.0±5.9	259.0±10.7	96	263.0±5.9
Kp09-2-34	8.8	101	155	0.65	0.052 8±0.003 0	0.319 6±0.018 9	0.044 3±0.000 9	0.014 2±0.000 5	320.0±130.0	282.0±14.6	280.0±5.7	286.0±9.8	99	280.0±5.7

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp09-2-35	4.3	40	73	0.54	0.053 2±0.004 4	0.323 7±0.024 0	0.045 0±0.000 9	0.013 1±0.000 6	345.0±161.0	285.0±18.4	284.0±5.5	263.0±12.8	99	284.0±5.5
Kp09-2-39	6.0	45	106	0.43	0.051 8±0.001 7	0.317 4±0.010 8	0.044 2±0.000 6	0.014 1±0.000 3	276.0±75.9	280.0±8.4	279.0±3.5	283.0±6.5	99	279.0±3.5
Kp09-2-40	6.4	55	104	0.52	0.053 1±0.001 8	0.347 2±0.011 6	0.047 3±0.000 6	0.014 6±0.000 3	332.0±77.8	303.0±8.8	298.0±3.9	294.0±6.9	98	298.0±3.9
Kp09-2-41	31.2	295	521	0.57	0.052 1±0.001 1	0.326 8±0.006 5	0.045 4±0.000 5	0.014 0±0.000 2	300.0±50.9	287.0±5.0	286.0±3.4	281.0±4.8	99	286.0±3.4
Kp09-2-42	8.1	74	147	0.51	0.051 6±0.002 2	0.305 2±0.012 9	0.042 5±0.000 8	0.013 0±0.000 3	333.0±96.3	270.0±10.0	268.0±4.8	260.0±6.2	99	268.0±4.8
Kp09-2-43	11.6	106	204	0.52	0.052 4±0.001 6	0.313 3±0.008 3	0.043 6±0.000 6	0.013 6±0.000 3	302.0±68.5	277.0±6.4	275.0±3.5	272.0±6.0	99	275.0±3.5
Kp09-2-44	7.9	66	130	0.51	0.057 2±0.002 5	0.349 2±0.015 8	0.043 9±0.000 8	0.015 1±0.000 4	498.0±96.3	304.0±11.9	277.0±4.7	302.0±8.2	90	
Kp09-2-45	8.9	74	163	0.46	0.055 0±0.001 6	0.327 8±0.009 6	0.043 0±0.000 6	0.014 2±0.000 3	409.0±63.0	288.0±7.3	271.0±3.6	284.0±6.4	94	271.0±3.6
Kp09-2-46	8.1	77	143	0.54	0.051 7±0.001 5	0.320 5±0.010 4	0.044 5±0.000 6	0.013 7±0.000 3	272.0±64.8	282.0±8.0	280.0±3.7	276.0±5.7	99	280.0±3.7
Kp09-2-47	6.5	68	109	0.63	0.052 0±0.001 9	0.328 1±0.012 1	0.045 5±0.000 6	0.014 5±0.000 4	287.0±78.7	288.0±9.3	287.0±3.5	291.0±7.2	99	287.0±3.5
Kp09-2-48	9.3	105	160	0.65	0.061 4±0.002 2	0.369 6±0.013 3	0.043 7±0.000 8	0.014 3±0.000 4	654.0±77.8	319.0±9.9	276.0±4.8	288.0±7.4	85	
Kp09-2-49	3.7	27	66	0.42	0.051 8±0.002 5	0.339 3±0.017 1	0.046 8±0.000 7	0.015 1±0.000 5	276.0±108.0	297.0±12.9	295.0±4.5	303.0±10.1	99	295.0±4.5
Kp09-2-50	5.8	50	104	0.49	0.051 5±0.001 7	0.322 2±0.010 9	0.044 8±0.000 6	0.013 9±0.000 3	265.0±75.9	284.0±8.4	283.0±3.4	280.0±6.8	99	283.0±3.4
Kp09-2-51	12.8	149	220	0.67	0.064 4±0.001 7	0.395 1±0.013 0	0.043 9±0.000 6	0.015 1±0.000 4	767.0±56.3	338.0±9.5	277.0±3.8	303.0±7.2	80	
Kp09-2-52	13.6	141	242	0.58	0.053 5±0.001 5	0.330 7±0.009 8	0.044 6±0.000 6	0.014 1±0.000 3	350.0±63.0	290.0±7.5	281.0±3.7	282.0±5.5	96	281.0±3.7
Kp09-2-54	4.9	40	92	0.43	0.051 6±0.002 3	0.323 9±0.017 9	0.044 8±0.001 1	0.015 4±0.000 8	333.0±104.0	285.0±13.7	282.0±6.6	309.0±15.6	99	282.0±6.6
Kp09-2-55	15.3	150	263	0.57	0.052 2±0.001 4	0.332 9±0.009 2	0.046 3±0.000 7	0.015 0±0.000 3	295.0±67.6	292.0±7.0	292.0±4.0	301.0±5.9	99	292.0±4.0
Kp09-2-56	6.6	53	112	0.47	0.080 3±0.003 0	0.502 7±0.019 0	0.045 3±0.000 6	0.019 5±0.000 5	1 206.0±72.7	414.0±12.8	286.0±3.4	390.0±9.7	63	
Kp09-2-58	5.7	43	99	0.43	0.052 5±0.001 8	0.343 1±0.012 6	0.047 3±0.000 7	0.015 6±0.000 4	309.0±79.6	300.0±9.5	298.0±4.2	313.0±8.9	99	298.0±4.2
Kp09-2-60	6.4	56	114	0.50	0.052 0±0.001 8	0.325 8±0.011 5	0.045 3±0.000 6	0.014 7±0.000 3	287.0±77.8	286.0±8.8	286.0±3.7	296.0±6.4	99	286.0±3.7
Kp09-2-61	5.6	53	101	0.52	0.052 0±0.001 8	0.325 3±0.011 8	0.045 3±0.000 7	0.014 9±0.000 4	283.0±75.0	286.0±9.0	286.0±4.1	298.0±7.0	99	286.0±4.1
Kp09-2-62	7.6	65	138	0.47	0.053 0±0.001 7	0.326 1±0.010 3	0.045 1±0.000 7	0.014 3±0.000 3	328.0±72.2	287.0±7.9	284.0±4.0	288.0±6.0	99	284.0±4.0
Kp09-2-64	4.8	41	87	0.47	0.052 7±0.001 9	0.324 3±0.011 3	0.045 2±0.000 7	0.014 8±0.000 4	317.0±83.3	285.0±8.6	285.0±4.0	298.0±7.6	99	285.0±4.0
Kp09-2-65	5.3	53	91	0.58	0.052 5±0.002 0	0.333 6±0.012 4	0.046 1±0.000 5	0.014 8±0.000 3	306.0±87.0	292.0±9.4	290.0±3.3	297.0±6.8	99	290.0±3.3
Kp09-2-66	5.8	48	106	0.46	0.049 6±0.002 2	0.323 2±0.013 5	0.047 2±0.000 7	0.015 7±0.000 4	172.0±106.0	284.0±10.4	297.0±4.1	314.0±8.2	95	297.0±4.1
Kp09-2-67	8.5	72	157	0.46	0.051 8±0.001 7	0.334 7±0.012 1	0.045 6±0.000 6	0.015 4±0.000 4	276.0±69.4	293.0±9.2	288.0±3.7	309.0±7.2	98	288.0±3.7
Kp09-2-68	7.6	87	137	0.63	0.052 1±0.001 9	0.313 8±0.010 9	0.044 0±0.000 6	0.014 1±0.000 3	300.0±81.5	277.0±8.4	277.0±3.8	282.0±6.6	99	277.0±3.8
Kp09-2-69	4.8	42	87	0.49	0.052 2±0.001 8	0.328 1±0.011 4	0.045 6±0.000 6	0.014 7±0.000 4	295.0±79.6	288.0±8.7	288.0±3.6	295.0±7.5	99	288.0±3.6
Kp09-2-71	5.0	41	90	0.46	0.053 2±0.002 1	0.336 6±0.012 8	0.045 7±0.000 8	0.015 2±0.000 4	339.0±88.9	295.0±9.7	288.0±4.7	305.0±8.8	97	288.0±4.7
Kp09-2-72	24.2	269	427	0.63	0.051 9±0.001 3	0.316 9±0.007 8	0.044 0±0.000 5	0.013 7±0.000 3	283.0±55.6	280.0±6.0	278.0±3.2	275.0±5.1	99	278.0±3.2
Kp09-2-73	15.9	152	275	0.55	0.052 3±0.001 3	0.333 3±0.008 9	0.045 7±0.000 6	0.014 6±0.000 3	298.0±57.4	292.0±6.8	288.0±3.6	293.0±5.4	98	288.0±3.6
Kp09-2-74	30.5	382	515	0.74	0.055 3±0.001 1	0.339 7±0.007 3	0.044 5±0.000 5	0.014 5±0.000 3	433.0±41.7	297.0±5.6	281.0±3.4	291.0±5.7	94	281.0±3.4
Kp09-2-75	4.3	46	76	0.60	0.054 4±0.002 5	0.326 0±0.016 3	0.044 3±0.000 8	0.015 7±0.000 5	387.0±104.0	287.0±12.5	279.0±4.8	314.0±10.8	97	279.0±4.8
Kp09-2-76	10.1	88	178	0.49	0.052 0±0.001 5	0.324 8±0.009 3	0.045 0±0.000 6	0.015 2±0.000 3	287.0±64.8	286.0±7.1	283.0±3.8	304.0±6.7	99	283.0±3.8
Kp09-2-77	4.4	34	81	0.42	0.052 5±0.002 7	0.317 5±0.016 3	0.044 1±0.000 8	0.016 0±0.000 5	306.0±116.0	280.0±12.6	278.0±5.1	321.0±10.6	99	278.0±5.1
Kp09-2-78	7.6	73	132	0.56	0.052 6±0.001 8	0.337 4±0.011 5	0.046 6±0.000 7	0.015 1±0.000 3	322.0±77.8	295.0±8.7	294.0±4.1	302.0±6.9	99	294.0±4.1
Kp09-2-79	12.3	126	211	0.60	0.052 0±0.001 6	0.328 7±0.011 5	0.045 5±0.000 6	0.014 5±0.000 3	287.0±76.8	289.0±8.8	287.0±4.0	291.0±6.5	99	287.0±4.0
Kp09-2-80	8.5	70	153	0.46	0.052 2±0.001 7	0.319 4±0.009 8	0.044 7±0.000 6	0.014 6±0.000 3	295.0±74.1	281.0±7.5	282.0±3.5	292.0±5.7	99	282.0±3.5
Kp09-2-81	7.7	81	133	0.61	0.053 3±0.001 9	0.327 6±0.011 0	0.045 1±0.000 6	0.013 9±0.000 3	343.0±79.6	288.0±8.4	284.0±3.5	279.0±5.4	98	284.0±3.5

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp09-2-82	10.9	126	187	0.68	$0.052\ 2\pm 0.001\ 7$	$0.317\ 6\pm 0.010\ 6$	$0.044\ 2\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 2\pm 0.000\ 3$	$300.0\pm 74.1$	$280.0\pm 8.2$	$279.0\pm 3.9$	$286.0\pm 5.6$	99	$279.0\pm 3.9$
Kp09-2-83	10.9	114	187	0.61	$0.051\ 5\pm 0.001\ 6$	$0.317\ 4\pm 0.009\ 9$	$0.044\ 9\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 1\pm 0.000\ 3$	$261.0\pm 72.2$	$280.0\pm 7.6$	$283.0\pm 3.5$	$283.0\pm 5.1$	98	$283.0\pm 3.5$
Kp09-2-84	8.1	68	137	0.50	$0.051\ 8\pm 0.001\ 7$	$0.327\ 8\pm 0.010\ 5$	$0.046\ 0\pm 0.000\ 6$	$0.015\ 0\pm 0.000\ 4$	$276.0\pm 69.4$	$288.0\pm 8.0$	$290.0\pm 3.8$	$301.0\pm 7.0$	99	$290.0\pm 3.8$
Kp09-2-85	19.8	224	338	0.66	$0.052\ 3\pm 0.001\ 3$	$0.318\ 6\pm 0.008\ 5$	$0.044\ 0\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 2\pm 0.000\ 7$	$298.0\pm 57.4$	$281.0\pm 6.5$	$277.0\pm 3.3$	$286.0\pm 14.1$	98	$277.0\pm 3.3$
Kp09-2-86	19.1	202	304	0.66	$0.056\ 1\pm 0.001\ 5$	$0.354\ 5\pm 0.009\ 9$	$0.046\ 4\pm 0.000\ 7$	$0.016\ 2\pm 0.000\ 4$	$457.0\pm 59.3$	$308.0\pm 7.4$	$292.0\pm 4.1$	$324.0\pm 7.2$	94	$292.0\pm 4.1$
Kp09-2-87	7.5	63	132	0.48	$0.052\ 2\pm 0.001\ 9$	$0.323\ 3\pm 0.012\ 5$	$0.044\ 8\pm 0.000\ 6$	$0.013\ 7\pm 0.000\ 3$	$295.0\pm 83.3$	$284.0\pm 9.6$	$282.0\pm 3.5$	$276.0\pm 5.9$	99	$282.0\pm 3.5$
Kp09-2-88	29.4	285	515	0.55	$0.051\ 8\pm 0.001\ 2$	$0.321\ 3\pm 0.008\ 2$	$0.044\ 8\pm 0.000\ 6$	$0.013\ 9\pm 0.000\ 2$	$276.0\pm 47.2$	$283.0\pm 6.3$	$282.0\pm 3.8$	$278.0\pm 4.9$	99	$282.0\pm 3.8$
Kp09-2-89	8.5	77	144	0.53	$0.053\ 7\pm 0.001\ 8$	$0.338\ 6\pm 0.011\ 4$	$0.046\ 2\pm 0.000\ 6$	$0.015\ 0\pm 0.000\ 4$	$367.0\pm 75.9$	$296.0\pm 8.6$	$291.0\pm 4.0$	$301.0\pm 8.0$	98	$291.0\pm 4.0$
Kp09-2-91	7.8	68	134	0.51	$0.053\ 2\pm 0.001\ 8$	$0.336\ 4\pm 0.011\ 2$	$0.046\ 0\pm 0.000\ 7$	$0.015\ 0\pm 0.000\ 4$	$345.0\pm 75.9$	$294.0\pm 8.5$	$290.0\pm 4.1$	$301.0\pm 7.3$	98	$290.0\pm 4.1$
Kp09-2-92	9.4	83	167	0.50	$0.051\ 8\pm 0.001\ 8$	$0.320\ 3\pm 0.011\ 4$	$0.044\ 7\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 2\pm 0.000\ 3$	$276.0\pm 79.6$	$282.0\pm 8.8$	$282.0\pm 3.5$	$285.0\pm 6.4$	99	$282.0\pm 3.5$
Kp09-2-93	18.7	156	328	0.48	$0.050\ 3\pm 0.001\ 2$	$0.317\ 5\pm 0.008\ 3$	$0.045\ 0\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 0\pm 0.000\ 3$	$209.0\pm 55.5$	$280.0\pm 6.4$	$284.0\pm 3.3$	$282.0\pm 5.0$	98	$284.0\pm 3.3$
Kp09-2-94	6.4	71	112	0.63	$0.052\ 1\pm 0.002\ 5$	$0.313\ 9\pm 0.013\ 5$	$0.043\ 9\pm 0.000\ 7$	$0.014\ 4\pm 0.000\ 3$	$300.0\pm 109.0$	$277.0\pm 10.4$	$277.0\pm 4.2$	$290.0\pm 6.8$	99	$277.0\pm 4.2$
Kp09-2-95	9.7	77	176	0.43	$0.052\ 1\pm 0.001\ 6$	$0.315\ 3\pm 0.009\ 5$	$0.043\ 6\pm 0.000\ 7$	$0.014\ 1\pm 0.000\ 4$	$300.0\pm 75.0$	$278.0\pm 7.3$	$275.0\pm 4.0$	$283.0\pm 7.9$	98	$275.0\pm 4.0$
Kp09-2-96	4.2	31	75	0.42	$0.052\ 6\pm 0.002\ 2$	$0.315\ 8\pm 0.012\ 3$	$0.044\ 1\pm 0.000\ 7$	$0.014\ 8\pm 0.000\ 5$	$322.0\pm 96.3$	$279.0\pm 9.5$	$278.0\pm 4.2$	$297.0\pm 9.7$	99	$278.0\pm 4.2$
Kp09-2-97	4.4	36	74	0.49	$0.053\ 5\pm 0.002\ 5$	$0.336\ 5\pm 0.015\ 2$	$0.045\ 6\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 6\pm 0.000\ 4$	$350.0\pm 107.0$	$295.0\pm 11.6$	$287.0\pm 3.8$	$293.0\pm 8.4$	97	$287.0\pm 3.8$
Kp09-2-98	18.5	168	333	0.50	$0.051\ 4\pm 0.001\ 3$	$0.305\ 4\pm 0.007\ 2$	$0.043\ 1\pm 0.000\ 6$	$0.013\ 6\pm 0.000\ 3$	$261.0\pm 52.8$	$271.0\pm 5.6$	$272.0\pm 3.5$	$273.0\pm 5.0$	99	$272.0\pm 3.5$
Kp09-2-101	9.9	77	180	0.43	$0.051\ 7\pm 0.001\ 4$	$0.316\ 7\pm 0.009\ 1$	$0.044\ 1\pm 0.000\ 5$	$0.013\ 4\pm 0.000\ 3$	$333.0\pm 61.1$	$279.0\pm 7.0$	$278.0\pm 3.3$	$270.0\pm 5.7$	99	$278.0\pm 3.3$
Kp09-2-102	17.3	169	299	0.56	$0.052\ 8\pm 0.001\ 3$	$0.339\ 5\pm 0.009\ 7$	$0.046\ 0\pm 0.000\ 7$	$0.014\ 7\pm 0.000\ 3$	$320.0\pm 57.4$	$297.0\pm 7.4$	$290.0\pm 4.5$	$294.0\pm 5.5$	97	$290.0\pm 4.5$
Kp10-1-03	20.5	193	361	0.54	$0.050\ 6\pm 0.001\ 1$	$0.325\ 9\pm 0.007\ 2$	$0.046\ 6\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 3\pm 0.000\ 3$	$233.0\pm 51.8$	$286.0\pm 5.5$	$294.0\pm 3.4$	$287.0\pm 5.1$	97	$294.0\pm 3.4$
Kp10-1-04	8.6	84	143	0.59	$0.068\ 5\pm 0.002\ 1$	$0.436\ 5\pm 0.012\ 5$	$0.046\ 5\pm 0.000\ 6$	$0.016\ 4\pm 0.000\ 4$	$885.0\pm 63.0$	$368.0\pm 8.8$	$293.0\pm 3.9$	$329.0\pm 7.7$	77	
Kp10-1-05	6.4	80	116	0.69	$0.051\ 9\pm 0.002\ 3$	$0.310\ 0\pm 0.013\ 5$	$0.043\ 2\pm 0.000\ 7$	$0.012\ 4\pm 0.000\ 3$	$280.0\pm 93.5$	$274.0\pm 10.4$	$273.0\pm 4.5$	$250.0\pm 6.4$	99	$273.0\pm 4.5$
Kp10-1-07	6.5	57	114	0.50	$0.052\ 9\pm 0.002\ 1$	$0.341\ 0\pm 0.013\ 5$	$0.046\ 6\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 1\pm 0.000\ 4$	$324.0\pm 92.6$	$298.0\pm 10.2$	$294.0\pm 3.5$	$283.0\pm 7.3$	98	$294.0\pm 3.5$
Kp10-1-09	6.2	54	110	0.49	$0.053\ 2\pm 0.001\ 8$	$0.333\ 7\pm 0.011\ 4$	$0.046\ 0\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 4\pm 0.000\ 4$	$345.0\pm 79.6$	$292.0\pm 8.7$	$290.0\pm 3.9$	$289.0\pm 7.4$	99	$290.0\pm 3.9$
Kp10-1-11	3.7	51	61	0.84	$0.052\ 6\pm 0.002\ 5$	$0.333\ 1\pm 0.016\ 0$	$0.046\ 1\pm 0.000\ 8$	$0.013\ 8\pm 0.000\ 3$	$309.0\pm 109.0$	$292.0\pm 12.2$	$290.0\pm 5.2$	$278.0\pm 6.2$	99	$290.0\pm 5.2$
Kp10-1-12	7.4	60	127	0.47	$0.056\ 0\pm 0.003\ 1$	$0.362\ 7\pm 0.019\ 8$	$0.046\ 5\pm 0.000\ 7$	$0.017\ 1\pm 0.000\ 6$	$454.0\pm 124.0$	$314.0\pm 14.7$	$293.0\pm 4.2$	$342.0\pm 11.8$	92	$293.0\pm 4.2$
Kp10-1-13	6.8	57	118	0.49	$0.052\ 6\pm 0.001\ 7$	$0.339\ 1\pm 0.010\ 7$	$0.046\ 9\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 3\pm 0.000\ 4$	$309.0\pm 74.1$	$296.0\pm 8.1$	$296.0\pm 3.7$	$287.0\pm 7.0$	99	$296.0\pm 3.7$
Kp10-1-16	16.3	214	267	0.80	$0.053\ 6\pm 0.001\ 3$	$0.333\ 1\pm 0.007\ 8$	$0.045\ 0\pm 0.000\ 5$	$0.013\ 7\pm 0.000\ 2$	$354.0\pm 55.6$	$292.0\pm 5.9$	$284.0\pm 2.9$	$275.0\pm 4.5$	97	$284.0\pm 2.9$
Kp10-1-17	2.3	18	39	0.46	$0.052\ 8\pm 0.003\ 5$	$0.338\ 7\pm 0.022\ 1$	$0.046\ 7\pm 0.000\ 8$	$0.015\ 3\pm 0.000\ 6$	$320.0\pm 150.0$	$296.0\pm 16.8$	$294.0\pm 4.8$	$307.0\pm 11.7$	99	$294.0\pm 4.8$
Kp10-1-18	3.3	28	58	0.48	$0.051\ 6\pm 0.002\ 8$	$0.320\ 4\pm 0.018\ 1$	$0.044\ 6\pm 0.000\ 6$	$0.014\ 7\pm 0.000\ 4$	$333.0\pm 93.5$	$282.0\pm 14.0$	$281.0\pm 3.8$	$294.0\pm 8.6$	99	$281.0\pm 3.8$
Kp10-1-19	5.0	38	86	0.44	$0.054\ 8\pm 0.002\ 2$	$0.350\ 9\pm 0.013\ 8$	$0.046\ 4\pm 0.000\ 6$	$0.015\ 6\pm 0.000\ 4$	$467.0\pm 82.4$	$305.0\pm 10.3$	$293.0\pm 3.7$	$313.0\pm 7.5$	95	$293.0\pm 3.7$
Kp10-1-20	6.6	67	112	0.60	$0.052\ 2\pm 0.001\ 6$	$0.330\ 7\pm 0.010\ 8$	$0.045\ 8\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 0\pm 0.000\ 3$	$295.0\pm 72.2$	$290.0\pm 8.2$	$288.0\pm 3.4$	$282.0\pm 5.6$	99	$288.0\pm 3.4$
Kp10-1-21	5.9	67	100	0.67	$0.052\ 6\pm 0.001\ 9$	$0.326\ 1\pm 0.011\ 5$	$0.045\ 2\pm 0.000\ 5$	$0.013\ 3\pm 0.000\ 3$	$322.0\pm 78.7$	$287.0\pm 8.8$	$285.0\pm 3.3$	$267.0\pm 5.7$	99	$285.0\pm 3.3$
Kp10-1-22	6.1	53	108	0.49	$0.052\ 9\pm 0.001\ 9$	$0.325\ 5\pm 0.011\ 7$	$0.044\ 7\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 5\pm 0.000\ 3$	$324.0\pm 114.0$	$286.0\pm 8.9$	$282.0\pm 3.2$	$292.0\pm 6.7$	98	$282.0\pm 3.2$
Kp10-1-24	8.0	81	135	0.60	$0.052\ 7\pm 0.001\ 5$	$0.333\ 9\pm 0.009\ 3$	$0.046\ 0\pm 0.000\ 5$	$0.014\ 6\pm 0.000\ 3$	$322.0\pm 63.0$	$293.0\pm 7.1$	$290.0\pm 3.4$	$292.0\pm 5.9$	99	$290.0\pm 3.4$
Kp10-1-25	10.5	104	189	0.55	$0.052\ 6\pm 0.001\ 4$	$0.318\ 4\pm 0.008\ 1$	$0.043\ 8\pm 0.000\ 4$	$0.013\ 3\pm 0.000\ 2$	$322.0\pm 59.3$	$281.0\pm 6.2$	$276.0\pm 2.7$	$268.0\pm 4.6$	98	$276.0\pm 2.7$
Kp10-1-31	9.4	97	181	0.54	$0.051\ 4\pm 0.001\ 6$	$0.293\ 2\pm 0.010\ 0$	$0.041\ 2\pm 0.000\ 6$	$0.012\ 9\pm 0.000\ 3$	$257.0\pm 72.2$	$261.0\pm 7.8$	$260.0\pm 3.6$	$260.0\pm 6.1$	99	$260.0\pm 3.6$
Kp10-1-32	7.1	78	123	0.64	$0.052\ 7\pm 0.002\ 3$	$0.328\ 1\pm 0.013\ 0$	$0.045\ 7\pm 0.000\ 7$	$0.014\ 0\pm 0.000\ 4$	$317.0\pm 98.1$	$288.0\pm 9.9$	$288.0\pm 4.1$	$281.0\pm 7.0$	99	$288.0\pm 4.1$
Kp10-1-35	9.3	106	159	0.67	$0.052\ 0\pm 0.001\ 5$	$0.318\ 8\pm 0.009\ 2$	$0.044\ 3\pm 0.000\ 5$	$0.013\ 7\pm 0.000\ 3$	$283.0\pm 68.5$	$281.0\pm 7.1$	$279.0\pm 3.1$	$275.0\pm 5.2$	99	$279.0\pm 3.1$
Kp10-1-36	5.0	42	84	0.50	$0.055\ 4\pm 0.002\ 1$	$0.347\ 8\pm 0.012\ 1$	$0.045\ 3\pm 0.000\ 7$	$0.016\ 5\pm 0.000\ 5$	$428.0\pm 81.5$	$303.0\pm 9.1$	$286.0\pm 4.3$	$332.0\pm 9.7$	94	$286.0\pm 4.3$

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp10-1-37	5.3	48	92	0.53	$0.054\ 4\pm0.002\ 1$	$0.331\ 8\pm0.011\ 9$	$0.044\ 5\pm0.000\ 6$	$0.014\ 8\pm0.000\ 4$	$387.0\pm89.8$	$291.0\pm9.1$	$280.0\pm4.0$	$296.0\pm7.6$	96	$280.0\pm4.0$
Kp10-1-38	6.7	55	116	0.48	$0.052\ 0\pm0.001\ 7$	$0.332\ 0\pm0.010\ 6$	$0.046\ 1\pm0.000\ 5$	$0.014\ 6\pm0.000\ 3$	$287.0\pm75.9$	$291.0\pm8.1$	$291.0\pm3.2$	$293.0\pm6.4$	99	$291.0\pm3.2$
Kp10-1-39	4.0	43	66	0.65	$0.051\ 8\pm0.002\ 0$	$0.327\ 8\pm0.013\ 1$	$0.045\ 5\pm0.000\ 6$	$0.014\ 6\pm0.000\ 3$	$276.0\pm87.0$	$288.0\pm10.0$	$287.0\pm3.7$	$292.0\pm6.4$	99	$287.0\pm3.7$
Kp10-1-40	4.0	36	72	0.50	$0.052\ 6\pm0.002\ 6$	$0.320\ 3\pm0.015\ 2$	$0.044\ 3\pm0.000\ 8$	$0.013\ 9\pm0.000\ 4$	$309.0\pm111.0$	$282.0\pm11.7$	$279.0\pm4.7$	$279.0\pm8.4$	98	$279.0\pm4.7$
Kp10-1-41	9.0	69	159	0.43	$0.052\ 0\pm0.001\ 5$	$0.326\ 1\pm0.009\ 4$	$0.045\ 2\pm0.000\ 5$	$0.013\ 9\pm0.000\ 3$	$283.0\pm64.8$	$287.0\pm7.2$	$285.0\pm3.4$	$279.0\pm5.5$	99	$285.0\pm3.4$
Kp10-1-43	10.4	109	177	0.61	$0.052\ 6\pm0.001\ 5$	$0.334\ 2\pm0.009\ 4$	$0.046\ 2\pm0.000\ 6$	$0.014\ 2\pm0.000\ 3$	$309.0\pm64.8$	$293.0\pm7.2$	$291.0\pm3.7$	$285.0\pm6.2$	99	$291.0\pm3.7$
Kp10-1-44	6.4	53	111	0.48	$0.052\ 5\pm0.001\ 7$	$0.324\ 9\pm0.010\ 2$	$0.045\ 2\pm0.000\ 6$	$0.014\ 4\pm0.000\ 3$	$306.0\pm80.5$	$286.0\pm7.8$	$285.0\pm3.7$	$289.0\pm6.1$	99	$285.0\pm3.7$
Kp10-1-47	6.6	53	111	0.47	$0.052\ 7\pm0.001\ 5$	$0.339\ 4\pm0.009\ 6$	$0.046\ 8\pm0.000\ 6$	$0.014\ 0\pm0.000\ 3$	$322.0\pm63.0$	$297.0\pm7.3$	$295.0\pm3.5$	$280.0\pm6.5$	99	$295.0\pm3.5$
Kp10-1-48	10.0	93	178	0.52	$0.051\ 4\pm0.001\ 3$	$0.316\ 3\pm0.008\ 7$	$0.044\ 7\pm0.000\ 6$	$0.013\ 5\pm0.000\ 3$	$261.0\pm61.1$	$279.0\pm6.7$	$282.0\pm3.7$	$271.0\pm5.8$	99	$282.0\pm3.7$
Kp10-1-49	4.9	41	84	0.49	$0.052\ 6\pm0.001\ 8$	$0.330\ 9\pm0.011\ 5$	$0.045\ 7\pm0.000\ 5$	$0.014\ 5\pm0.000\ 4$	$309.0\pm75.9$	$290.0\pm8.8$	$288.0\pm3.3$	$290.0\pm8.2$	99	$288.0\pm3.3$
Kp10-1-54	5.6	44	97	0.46	$0.052\ 2\pm0.002\ 1$	$0.332\ 7\pm0.013\ 8$	$0.046\ 0\pm0.000\ 7$	$0.014\ 3\pm0.000\ 5$	$300.0\pm92.6$	$292.0\pm10.5$	$290.0\pm4.3$	$286.0\pm9.2$	99	$290.0\pm4.3$
Kp10-1-56	8.5	67	143	0.47	$0.051\ 5\pm0.001\ 5$	$0.325\ 4\pm0.009\ 5$	$0.045\ 8\pm0.000\ 5$	$0.014\ 3\pm0.000\ 3$	$265.0\pm66.7$	$286.0\pm7.3$	$289.0\pm3.2$	$288.0\pm6.3$	99	$289.0\pm3.2$
Kp10-1-57	19.4	149	356	0.42	$0.053\ 0\pm0.001\ 1$	$0.313\ 5\pm0.006\ 5$	$0.042\ 8\pm0.000\ 4$	$0.013\ 5\pm0.000\ 2$	$332.0\pm46.3$	$277.0\pm5.0$	$270.0\pm2.7$	$270.0\pm4.3$	97	$270.0\pm2.7$
Kp10-1-58	6.1	53	106	0.50	$0.052\ 2\pm0.002\ 0$	$0.315\ 6\pm0.011\ 6$	$0.044\ 0\pm0.000\ 5$	$0.013\ 9\pm0.000\ 3$	$295.0\pm91.7$	$279.0\pm9.0$	$278.0\pm3.3$	$280.0\pm6.2$	99	$278.0\pm3.3$
Kp10-1-59	15.0	182	258	0.70	$0.052\ 0\pm0.001\ 2$	$0.308\ 3\pm0.007\ 4$	$0.042\ 8\pm0.000\ 5$	$0.013\ 1\pm0.000\ 2$	$283.0\pm55.6$	$273.0\pm5.7$	$270.0\pm2.9$	$263.0\pm4.3$	99	$270.0\pm2.9$
Kp10-1-60	3.8	30	61	0.50	$0.067\ 0\pm0.003\ 1$	$0.432\ 7\pm0.021\ 4$	$0.046\ 8\pm0.000\ 8$	$0.018\ 4\pm0.000\ 7$	$835.0\pm93.5$	$365.0\pm15.2$	$295.0\pm4.8$	$368.0\pm13.6$	78	
Kp10-1-61	3.8	29	66	0.43	$0.052\ 9\pm0.002\ 3$	$0.335\ 8\pm0.014\ 0$	$0.046\ 7\pm0.000\ 8$	$0.014\ 1\pm0.000\ 5$	$328.0\pm93.5$	$294.0\pm10.7$	$294.0\pm4.7$	$283.0\pm9.1$	99	$294.0\pm4.7$
Kp10-1-62	2.7	28	44	0.63	$0.052\ 9\pm0.002\ 7$	$0.334\ 2\pm0.018\ 0$	$0.045\ 6\pm0.000\ 8$	$0.013\ 7\pm0.000\ 4$	$324.0\pm110.0$	$293.0\pm13.7$	$287.0\pm4.7$	$276.0\pm8.7$	98	$287.0\pm4.7$
Kp10-1-63	3.8	38	67	0.57	$0.052\ 1\pm0.002\ 1$	$0.318\ 3\pm0.013\ 3$	$0.044\ 2\pm0.000\ 6$	$0.013\ 8\pm0.000\ 4$	$300.0\pm95.4$	$281.0\pm10.2$	$279.0\pm3.8$	$276.0\pm7.7$	99	$279.0\pm3.8$
Kp10-1-64	10.1	117	169	0.69	$0.051\ 9\pm0.001\ 7$	$0.317\ 8\pm0.010\ 3$	$0.044\ 4\pm0.000\ 6$	$0.013\ 4\pm0.000\ 3$	$283.0\pm74.1$	$280.0\pm8.0$	$280.0\pm3.8$	$268.0\pm5.5$	99	$280.0\pm3.8$
Kp10-1-65	7.6	52	121	0.43	$0.073\ 7\pm0.002\ 7$	$0.480\ 6\pm0.018\ 4$	$0.046\ 4\pm0.000\ 7$	$0.021\ 0\pm0.000\ 7$	$1\ 035.0\pm74.0$	$398.0\pm12.6$	$292.0\pm4.3$	$420.0\pm14.6$	69	
Kp10-1-67	7.0	59	118	0.50	$0.054\ 6\pm0.001\ 6$	$0.351\ 9\pm0.010\ 8$	$0.047\ 0\pm0.000\ 7$	$0.015\ 4\pm0.000\ 4$	$394.0\pm68.5$	$306.0\pm8.1$	$296.0\pm4.0$	$310.0\pm7.5$	96	$296.0\pm4.0$
Kp10-1-68	8.8	77	159	0.48	$0.051\ 8\pm0.001\ 4$	$0.313\ 9\pm0.008\ 4$	$0.043\ 9\pm0.000\ 5$	$0.013\ 2\pm0.000\ 3$	$276.0\pm65.7$	$277.0\pm6.5$	$277.0\pm3.1$	$265.0\pm5.1$	99	$277.0\pm3.1$
Kp10-1-69	14.7	176	257	0.69	$0.051\ 9\pm0.001\ 1$	$0.309\ 8\pm0.006\ 6$	$0.043\ 2\pm0.000\ 4$	$0.012\ 6\pm0.000\ 2$	$280.0\pm48.1$	$274.0\pm5.1$	$273.0\pm2.8$	$253.0\pm4.0$	99	$273.0\pm2.8$
Kp10-1-70	7.5	80	127	0.63	$0.052\ 8\pm0.001\ 9$	$0.331\ 3\pm0.012\ 4$	$0.045\ 3\pm0.000\ 7$	$0.014\ 4\pm0.000\ 3$	$320.0\pm118.0$	$291.0\pm9.4$	$285.0\pm4.4$	$289.0\pm6.3$	98	$285.0\pm4.4$
Kp10-1-71	9.5	79	169	0.47	$0.051\ 5\pm0.002\ 2$	$0.327\ 1\pm0.016\ 7$	$0.045\ 2\pm0.000\ 9$	$0.014\ 4\pm0.000\ 5$	$261.0\pm103.0$	$287.0\pm12.8$	$285.0\pm5.4$	$289.0\pm10.6$	99	$285.0\pm5.4$
Kp10-1-72	14.2	195	250	0.78	$0.051\ 5\pm0.001\ 2$	$0.304\ 6\pm0.007\ 8$	$0.042\ 8\pm0.000\ 6$	$0.013\ 0\pm0.000\ 3$	$265.0\pm55.6$	$270.0\pm6.0$	$270.0\pm3.6$	$262.0\pm5.3$	99	$270.0\pm3.6$
Kp10-1-73	7.9	83	134	0.62	$0.051\ 9\pm0.001\ 7$	$0.331\ 4\pm0.010\ 6$	$0.046\ 1\pm0.000\ 5$	$0.014\ 1\pm0.000\ 3$	$283.0\pm72.2$	$291.0\pm8.1$	$291.0\pm3.2$	$284.0\pm6.0$	99	$291.0\pm3.2$
Kp10-1-74	5.5	47	94	0.50	$0.051\ 0\pm0.002\ 0$	$0.320\ 7\pm0.012\ 3$	$0.046\ 0\pm0.000\ 6$	$0.014\ 6\pm0.000\ 4$	$239.0\pm90.7$	$282.0\pm9.4$	$290.0\pm3.9$	$292.0\pm7.0$	97	$290.0\pm3.9$
Kp10-1-77	9.6	97	159	0.61	$0.100\ 5\pm0.004\ 7$	$0.616\ 9\pm0.030\ 7$	$0.043\ 8\pm0.000\ 5$	$0.020\ 8\pm0.000\ 9$	$1\ 635.0\pm87.3$	$488.0\pm19.3$	$276.0\pm3.1$	$417.0\pm17.3$	44	
Kp10-1-81	5.2	44	89	0.49	$0.052\ 2\pm0.002\ 0$	$0.336\ 6\pm0.013\ 5$	$0.046\ 6\pm0.000\ 6$	$0.014\ 7\pm0.000\ 3$	$300.0\pm88.9$	$295.0\pm10.3$	$294.0\pm3.6$	$295.0\pm6.7$	99	$294.0\pm3.6$
Kp10-1-82	3.6	27	61	0.45	$0.052\ 7\pm0.002\ 2$	$0.345\ 4\pm0.014\ 4$	$0.047\ 4\pm0.000\ 7$	$0.018\ 1\pm0.000\ 6$	$322.0\pm94.4$	$301.0\pm10.8$	$299.0\pm4.3$	$362.0\pm12.3$	99	$299.0\pm4.3$
Kp10-1-83	6.7	57	118	0.48	$0.052\ 2\pm0.001\ 5$	$0.321\ 9\pm0.009\ 6$	$0.044\ 9\pm0.000\ 6$	$0.015\ 0\pm0.001\ 0$	$295.0\pm66.7$	$283.0\pm7.4$	$283.0\pm3.5$	$301.0\pm20.9$	99	$283.0\pm3.5$
Kp10-1-84	5.0	54	82	0.66	$0.052\ 4\pm0.001\ 8$	$0.341\ 0\pm0.012\ 4$	$0.047\ 1\pm0.000\ 7$	$0.014\ 5\pm0.000\ 3$	$306.0\pm77.8$	$298.0\pm9.4$	$297.0\pm4.6$	$292.0\pm6.3$	99	$297.0\pm4.6$
Kp10-1-85	4.9	43	87	0.49	$0.052\ 7\pm0.001\ 9$	$0.335\ 4\pm0.012\ 0$	$0.046\ 6\pm0.000\ 7$	$0.014\ 9\pm0.000\ 4$	$322.0\pm81.5$	$294.0\pm9.1$	$293.0\pm4.2$	$299.0\pm7.3$	99	$293.0\pm4.2$
Kp10-1-86	4.0	34	71	0.48	$0.053\ 0\pm0.002\ 4$	$0.340\ 5\pm0.017\ 5$	$0.047\ 0\pm0.000\ 8$	$0.015\ 4\pm0.000\ 4$	$328.0\pm106.0$	$298.0\pm13.3$	$296.0\pm5.1$	$309.0\pm8.4$	99	$296.0\pm5.1$
Kp10-1-87	4.6	37	81	0.46	$0.052\ 5\pm0.001\ 8$	$0.332\ 6\pm0.012\ 0$	$0.045\ 9\pm0.000\ 6$	$0.014\ 6\pm0.000\ 3$	$309.0\pm75.9$	$292.0\pm9.2$	$289.0\pm4.0$	$293.0\pm6.6$	99	$289.0\pm4.0$
Kp10-1-88	6.8	56	121	0.46	$0.051\ 0\pm0.001\ 6$	$0.329\ 1\pm0.010\ 1$	$0.046\ 6\pm0.000\ 6$	$0.014\ 6\pm0.000\ 3$	$243.0\pm76.8$	$289.0\pm7.7$	$294.0\pm3.4$	$294.0\pm5.8$	98	$294.0\pm3.4$
Kp10-1-92	5.3	54	88	0.62	$0.052\ 1\pm0.001\ 7$	$0.336\ 1\pm0.011\ 5$	$0.047\ 0\pm0.000\ 7$	$0.015\ 0\pm0.000\ 3$	$287.0\pm75.9$	$294.0\pm8.7$	$296.0\pm4.2$	$300.0\pm5.8$	99	$296.0\pm4.2$

续表 1

分析点	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(^{232}\text{Th})/10^{-6}$	$w(^{238}\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/ N(^{206}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/ n(^{235}\text{U})$	$n(^{206}\text{Pb})/ n(^{238}\text{U})$	$n(^{208}\text{Pb})/ n(^{232}\text{Th})$	$N(^{207}\text{Pb})/ N(^{206}\text{Pb})$ 年龄/Ma	$n(^{207}\text{Pb})/ n(^{235}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{206}\text{Pb})/ n(^{238}\text{U})$ 年龄/Ma	$n(^{208}\text{Pb})/ n(^{232}\text{Th})$ 年龄/Ma	谐和度/ %	采用的 年龄/Ma
Kp10-1-94	5.0	54	82	0.67	$0.052\,3\pm0.001\,9$	$0.345\,8\pm0.012\,7$	$0.047\,5\pm0.000\,7$	$0.015\,0\pm0.000\,3$	$298.0\pm81.5$	$302.0\pm9.6$	$299.0\pm4.3$	$301.0\pm6.7$	99	$299.0\pm4.3$
Kp10-1-97	8.1	67	139	0.49	$0.052\,5\pm0.001\,7$	$0.338\,8\pm0.010\,4$	$0.047\,0\pm0.000\,7$	$0.014\,4\pm0.000\,3$	$306.0\pm72.2$	$296.0\pm7.9$	$296.0\pm4.2$	$289.0\pm6.1$	99	$296.0\pm4.2$
Kp10-1-99	5.0	49	84	0.59	$0.052\,8\pm0.002\,0$	$0.335\,7\pm0.013\,4$	$0.046\,3\pm0.000\,7$	$0.014\,7\pm0.000\,3$	$320.0\pm116.0$	$294.0\pm10.2$	$292.0\pm4.1$	$295.0\pm6.5$	99	$292.0\pm4.1$
Kp10-1-100	5.9	53	98	0.54	$0.053\,1\pm0.001\,6$	$0.342\,0\pm0.010\,3$	$0.046\,7\pm0.000\,6$	$0.014\,8\pm0.000\,3$	$332.0\pm66.7$	$299.0\pm7.8$	$294.0\pm3.5$	$297.0\pm6.5$	98	$294.0\pm3.5$
Kp10-1-102	2.7	22	46	0.48	$0.060\,7\pm0.002\,2$	$0.380\,8\pm0.015\,9$	$0.044\,8\pm0.000\,7$	$0.015\,6\pm0.000\,5$	$628.0\pm79.6$	$328.0\pm11.7$	$283.0\pm4.4$	$313.0\pm9.9$	85	
Kp07-4-15	49.3	550	791	0.69	$0.051\,9\pm0.001\,2$	$0.332\,6\pm0.007\,2$	$0.046\,3\pm0.000\,5$	$0.014\,0\pm0.000\,2$	$283.0\pm58.3$	$292.0\pm5.5$	$292.0\pm2.9$	$280.0\pm4.5$	99	$292.0\pm2.9$
Kp07-4-42	27.2	407	429	0.95	$0.051\,8\pm0.001\,3$	$0.315\,4\pm0.008\,5$	$0.044\,2\pm0.000\,7$	$0.013\,8\pm0.000\,3$	$276.0\pm63.9$	$278.0\pm6.5$	$279.0\pm4.2$	$277.0\pm5.1$	99	$279.0\pm4.2$
Kp07-4-47	9.5	115	151	0.76	$0.052\,8\pm0.002\,1$	$0.337\,1\pm0.013\,4$	$0.046\,7\pm0.000\,7$	$0.014\,5\pm0.000\,3$	$320.0\pm88.0$	$295.0\pm10.2$	$294.0\pm4.3$	$290.0\pm6.2$	99	$294.0\pm4.3$
Kp07-4-79	10.6	129	179	0.72	$0.054\,7\pm0.001\,6$	$0.334\,7\pm0.010\,6$	$0.044\,4\pm0.000\,6$	$0.013\,0\pm0.000\,3$	$467.0\pm66.7$	$293.0\pm8.0$	$280.0\pm3.9$	$260.0\pm6.1$	95	$280.0\pm3.9$
Kp07-4-86	21.5	155	398	0.39	$0.051\,8\pm0.001\,2$	$0.314\,4\pm0.007\,4$	$0.043\,8\pm0.000\,5$	$0.014\,4\pm0.000\,3$	$276.0\pm53.7$	$278.0\pm5.7$	$276.0\pm3.3$	$290.0\pm6.2$	99	$276.0\pm3.3$
Kp07-4-88	7.5	52	135	0.39	$0.052\,3\pm0.001\,9$	$0.337\,4\pm0.011\,8$	$0.047\,0\pm0.000\,7$	$0.014\,7\pm0.000\,4$	$302.0\pm86.1$	$295.0\pm8.9$	$296.0\pm4.3$	$295.0\pm8.0$	99	$296.0\pm4.3$
Kp07-4-100	20.0	242	308	0.79	$0.052\,2\pm0.001\,1$	$0.332\,5\pm0.007\,8$	$0.046\,2\pm0.000\,5$	$0.014\,7\pm0.000\,3$	$295.0\pm50.0$	$291.0\pm5.9$	$291.0\pm3.3$	$295.0\pm5.3$	99	$291.0\pm3.3$

注:编号以 16P01 开头的分析点为样品 16P01,以 Kp004 开头的为样品 Kp004,以 Kp08-1a 开头的为样品 Kp08-1a,以 16P02 开头的为样品 16P02,以 Kp09-2 开头的为样品 Kp09-2,以 Kp10-1 开头的为样品 Kp10-1,以 Kp07-4 开头的为样品 Kp07-4;误差类型为  $1\sigma$ ;  $w(\cdot)$  为元素含量(质量分数,下同);  $N(\cdot)/N(\cdot)$  为同一元素同位素比值,  $N(\cdot)$  为该元素的原子丰度;  $n(\cdot)/n(\cdot)$  为不同元素同位素比值,  $n(\cdot)$  为元素的物质的量。

上述 3 个样品的碎屑锆石年龄具有如下分布特征:①自下而上,年轻碎屑锆石总体数量不断增加;②3 个样品中都含有数量不等的年龄小于 280 Ma 的碎屑锆石,其数量由下至上明显增加,有两个样品中还含有年龄小于 270 Ma 的碎屑锆石。这些资料显示,该采样剖面二叠纪碎屑岩沉积时代有可能是中二叠世或更晚,而不是早二叠世。

### 3.2 柯坪塔格北段西坡

在柯坪县城以东地区的柯坪塔格北段西坡出露了朝 NW 向中等倾斜的志留系、泥盆系、石炭系和二叠系,它们被 NW 向基性岩墙切割。康克林组之上的二叠纪地层自下而上依次为下部红色碎屑岩、玄武岩、富含生物化石的灰岩和泥灰岩,以及上部红色碎屑岩(图 3)。这表明在上部碎屑岩沉积以后,还有幔源玄武质岩浆活动。通过区域对比,该地区所出露的玄武岩为区域上两套玄武岩中的下部玄武岩。3 个用于锆石 U-Pb 定年的碎屑岩样品分别采自下部红色碎屑岩(样品 16P01)和上部红色碎屑岩(样品 Kp004、Kp08-1a)。在层位上,上述样品所在层位大体分别相当于库普库兹满组下部和开派兹雷克组下部碎屑岩。

样品 16P01 岩性为夹于浅红褐色粉砂岩的灰白色细砂岩透镜体。对从该样品分选出的 105 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 89 粒锆石年龄的谐和度大于 90%。其中有 6 粒锆石年龄小于 290 Ma,包

括 1 粒 277 Ma、5 粒 286~288 Ma。这一结果表明,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 280 Ma。

样品 Kp004 岩性为直接覆盖在含化石的灰岩之上的灰白色细砂岩。对从该样品分选出的 102 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 87 粒锆石年龄的谐和度大于 90%,其 U-Pb 年龄介于 254~328 Ma。其中有 35 粒锆石年龄小于 290 Ma,包括 6 粒小于 270 Ma(1 粒为 254 Ma,其余 5 粒为 260~269 Ma)、10 粒 270~279 Ma、19 粒 280~289 Ma。这一结果表明,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 260 Ma。

样品 Kp08-1a 岩性为浅灰褐色砂岩。对从该样品分选出的 96 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 93 粒锆石年龄的谐和度大于 90%。除了 1 粒锆石年龄为 721 Ma 外,其余 92 粒介于 257~330 Ma。其中有 66 粒锆石年龄小于 290 Ma,包括 3 粒 257~259 Ma、8 粒 262~269 Ma、28 粒 270~279 Ma、26 粒 280~289 Ma。这一结果表明,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 260 Ma。

该采样剖面碎屑锆石年龄分布具有如下明显特征:在下部玄武岩喷发之前,年龄小于 280 Ma 的碎屑锆石很少;在下部玄武岩喷发之后,沉积岩系中出现了大量年龄小于 280 Ma 的碎屑锆石。

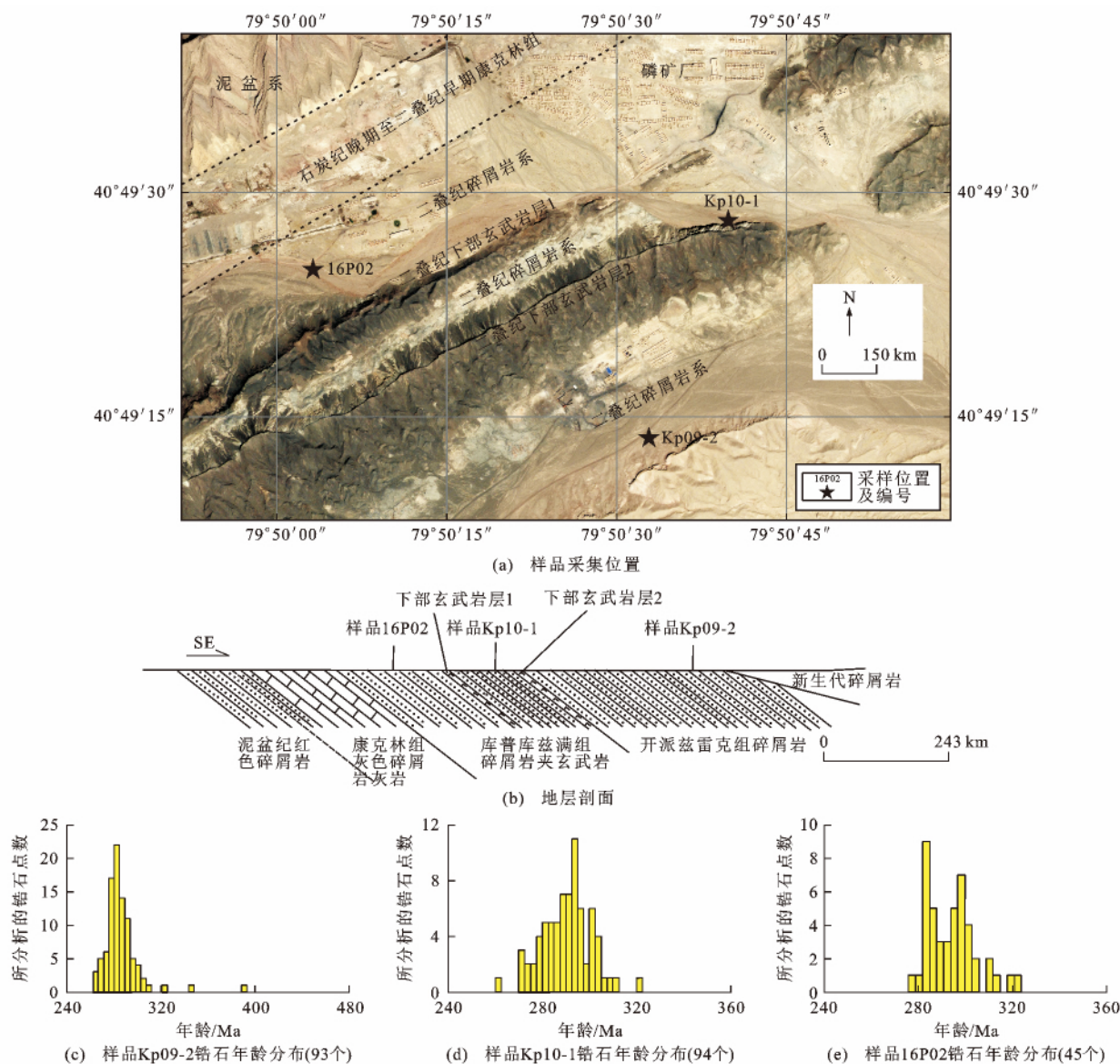


图2 印干山东北磷矿厂碎屑锆石样品采集位置和锆石 U-Pb 年龄分布

Fig. 2 Sampling Positions of Dating Samples of Detrital Zircons in Linkuangchang Section of the Northeast Yingan Mountain and Distributions of Zircon U-Pb Ages

### 3.3 衣木干他乌西坡

样品 Kp07-4 采自柯坪县城以西地区的衣木干他乌西坡覆盖在康克林组灰岩之上的二叠纪杂色碎屑岩(图4),岩性为浅红色细砂岩。就层位而言,其大体与印干山地区下部玄武岩之下的碎屑岩相当。样品采集位置可能要比印干山东北磷矿厂和柯坪塔格北段西坡下部玄武岩之下的样品所在层位还要低一些。在该区,岩层朝 NW 向中等倾斜,未见二叠纪玄武岩,但是可见基性岩墙穿切了石炭纪和二叠纪地层(图4)。

对从该样品分选出的 102 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,有 98 粒锆石年龄的谐和度大于 90%。其中有 7 粒锆石年龄小于 300 Ma(介于 276~296

Ma),包括 276 Ma、279 Ma 和 280 Ma 各 1 粒以及 4 粒 291~296 Ma。这一结果表明,该样品所在层位的碎屑岩沉积时代下限有可能不早于 280 Ma。

## 4 讨论

### 4.1 年轻碎屑锆石年龄分布及其地质意义

无论是变质锆石还是岩浆锆石都不是在地表形成的,它们都经过隆升剥蚀、搬运和再沉积,才以碎屑锆石的形式进入到所研究的沉积岩中。因此,碎屑锆石给出的沉积时代下限往往比较偏老。但在火山沉积碎屑岩中,最年轻的碎屑锆石年龄也可能就是其沉积时代。无论何种情况,沉积岩的沉积时代都不可能老于其中具有确切地质意义的碎屑锆石的



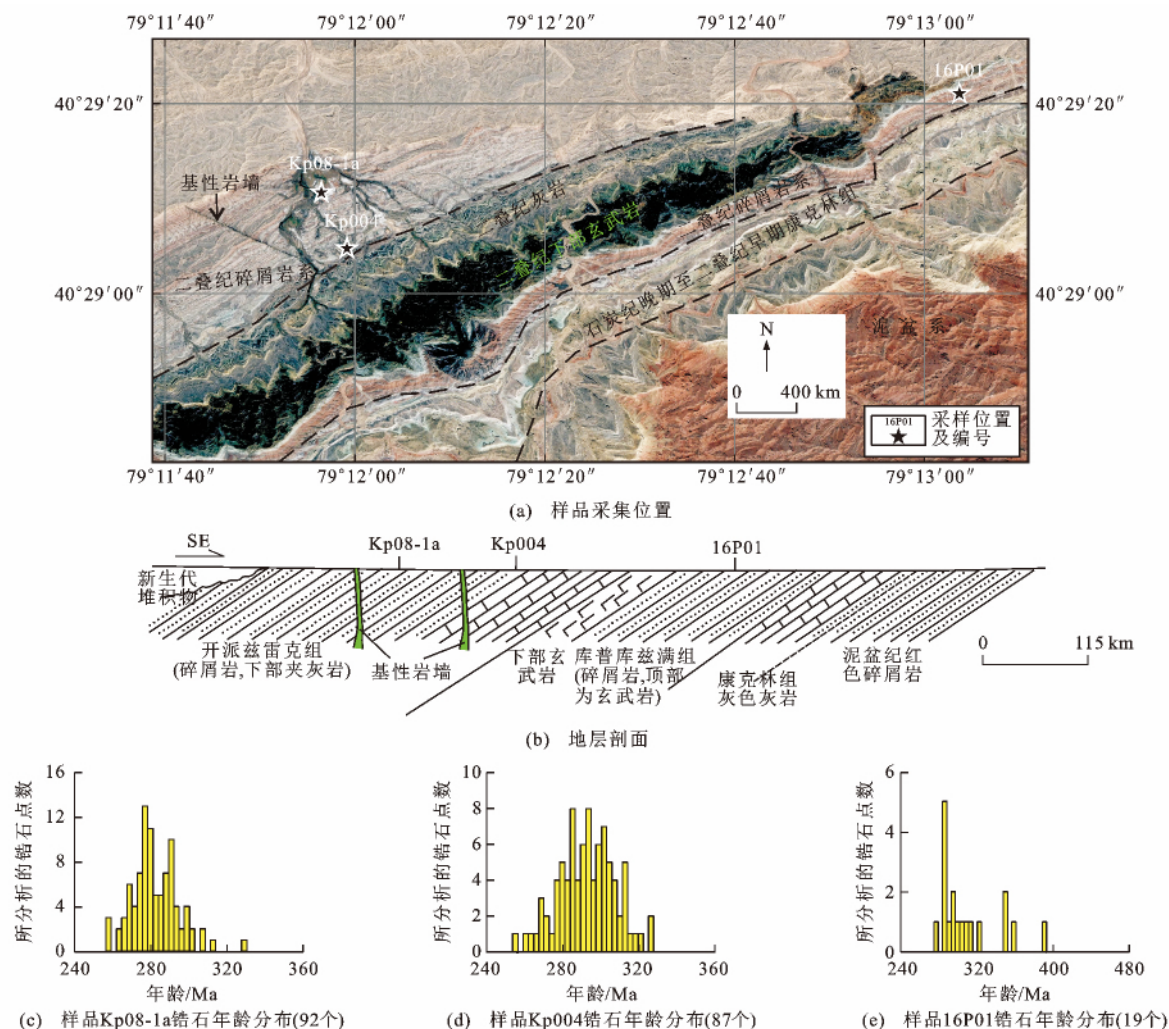


图3 柯坪塔格北段西坡碎屑锆石样品采集位置和锆石 U-Pb 年龄分布

Fig. 3 Sampling Positions of Dating Samples of Detrital Zircons in the Western Slope of North Kepingtag and Distributions of Zircon U-Pb Ages

最年轻年龄。

碎屑锆石年龄的地质意义需要结合相关锆石的晶体特征和区域地质背景加以确定。首先,需要排除沉积以后地质作用的影响;其次,需要排除分析误差的影响,即避免把分析过程中一次地质作用形成的个别锆石年龄偏小解释为另一次独立地质事件;再次,需要确定所获得的碎屑锆石是同岩浆结晶的,还是同变质作用结晶的,并将其与可能源区已有相关资料进行对比研究,排除样品分选过程中外来锆石混入的可能性。

如上所述,在本文所分析的采集自柯坪地区二叠纪地层不同地区不同层位的碎屑岩样品中都含有数量可观的年龄小于 280 Ma 的碎屑锆石。在 7 个砂岩样品中有 664 粒锆石年龄的谐和度大于 90%,其中 99 粒锆石年龄小于 280 Ma,126 粒介于 280~289 Ma(表 2)。如此多的数量归因于外来混入和分

析误差,显然是难以理解的。

另外,7 个砂岩样品分选和锆石 U-Pb 定年分析也不是在一个实验室同时完成的,但是其中的年轻碎屑锆石年龄却大体相同。就这些碎屑锆石晶体特征而言,它们与同一样品中相对比较老的锆石差别还是明显的。此外,邹思远等采集自柯坪县印干村以北大湾沟剖面上部玄武岩之下和夹层的砂岩样品中也含有类似年龄的碎屑锆石<sup>[20]</sup>。不同研究群体在不同时期采自不同地点的样品在不同实验室获得了同样的结果,从另一个侧面排除了存在外来混入和分析误差的可能性。

从区域地质背景来看,该区二叠纪地层没有遭受任何变质改造的痕迹,其构造变形主要发生在新生代早期,为浅表构造层次的脆性变形。尽管如此,本项研究所采样品都选择了尽可能远离这些断裂构造的岩层。本项研究的锆石阴极发光(CL)图像显示



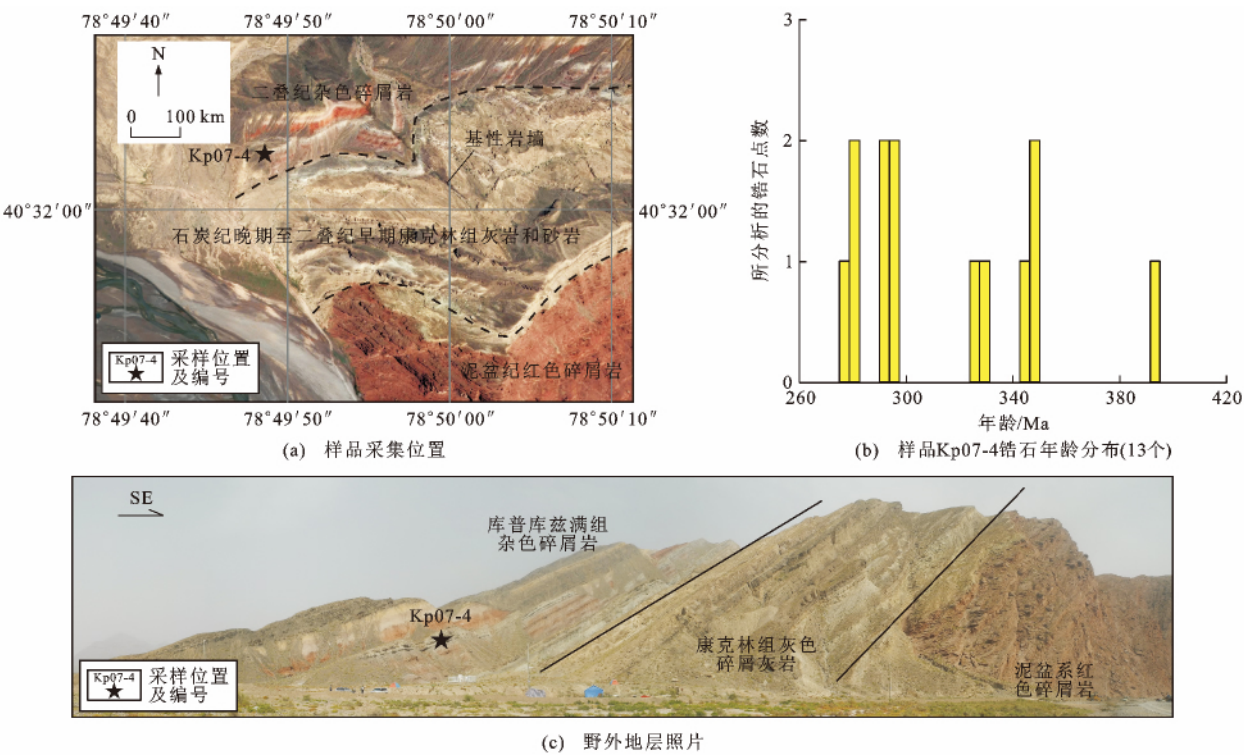


图 4 衣木干他乌西坡碎屑锆石样品采集位置和锆石 U-Pb 年龄分布

Fig. 4 Sampling Positions of Dating Samples of Detrital Zircons in the Western Slope of Yimugatau and Distributions of Zircon U-Pb Ages

表 2 各个样品中年轻碎屑锆石年龄分布

Tab. 2 Distribution of Younger Detrital Zircon Ages in Available Samples

样品位置	样品编号	年龄为 250~259 Ma 的锆石数量	年龄为 260~269 Ma 的锆石数量	年龄为 270~279 Ma 的锆石数量	年龄为 280~289 Ma 的锆石数量	年龄为 290~299 Ma 的锆石数量	年龄有效的 锆石总数
印干山东北 磷矿厂	Kp09-2		6	22	37	16	98
	Kp10-1		1	11	20	29	94
	16P02			1	18	14	105
柯坪塔 格北段 西坡	Kp08-1	3	8	28	26	21	93
	Kp004	1	5	10	19	23	87
	16P01			1	5	4	89
衣木干他乌西坡	Kp07-4			2	1	4	98
柯坪县印干村 大湾沟	Yg050409		10	10	7	3	58
	Yg050412		5	3	10	8	85
	Yg050413		3	5	5	9	85

注:柯坪县印干村大湾沟数据引自文献[20]。

锆石晶体没有遭受后期流体改造的痕迹(图 5)。因此,这些年轻的碎屑锆石年龄不是锆石同位素体系受到后期改造所致,而是这些锆石的结晶年龄。从阴极发光图像反映的锆石晶体特征(图 5)和 U-Pb 定年分析获得的  $w(\text{Th})/w(\text{U})$  值(表 1)来看,它们都属于岩浆锆石,因此,它们的年龄应该代表了相关岩浆岩的侵入或喷发时代。

更为重要的是,区域上的确存在与这些年轻碎

屑锆石年龄类似的侵入岩。例如:在塔里木盆地西北缘皮羌一带发育同时代的正长岩、花岗岩和辉长岩<sup>[21-24]</sup>;在天山南部多个地区也有同时代的花岗岩<sup>[25-32]</sup>;在柯坪东南的巴楚地区发育同时代的正长岩<sup>[3,8,10,33-35]</sup>。这些地区侵入岩中的岩浆锆石在晶体特征方面,与本项研究获得的年轻碎屑锆石具有很大的相似性(图 5)。

综上所述,笔者认为上述采自不同地区二叠纪

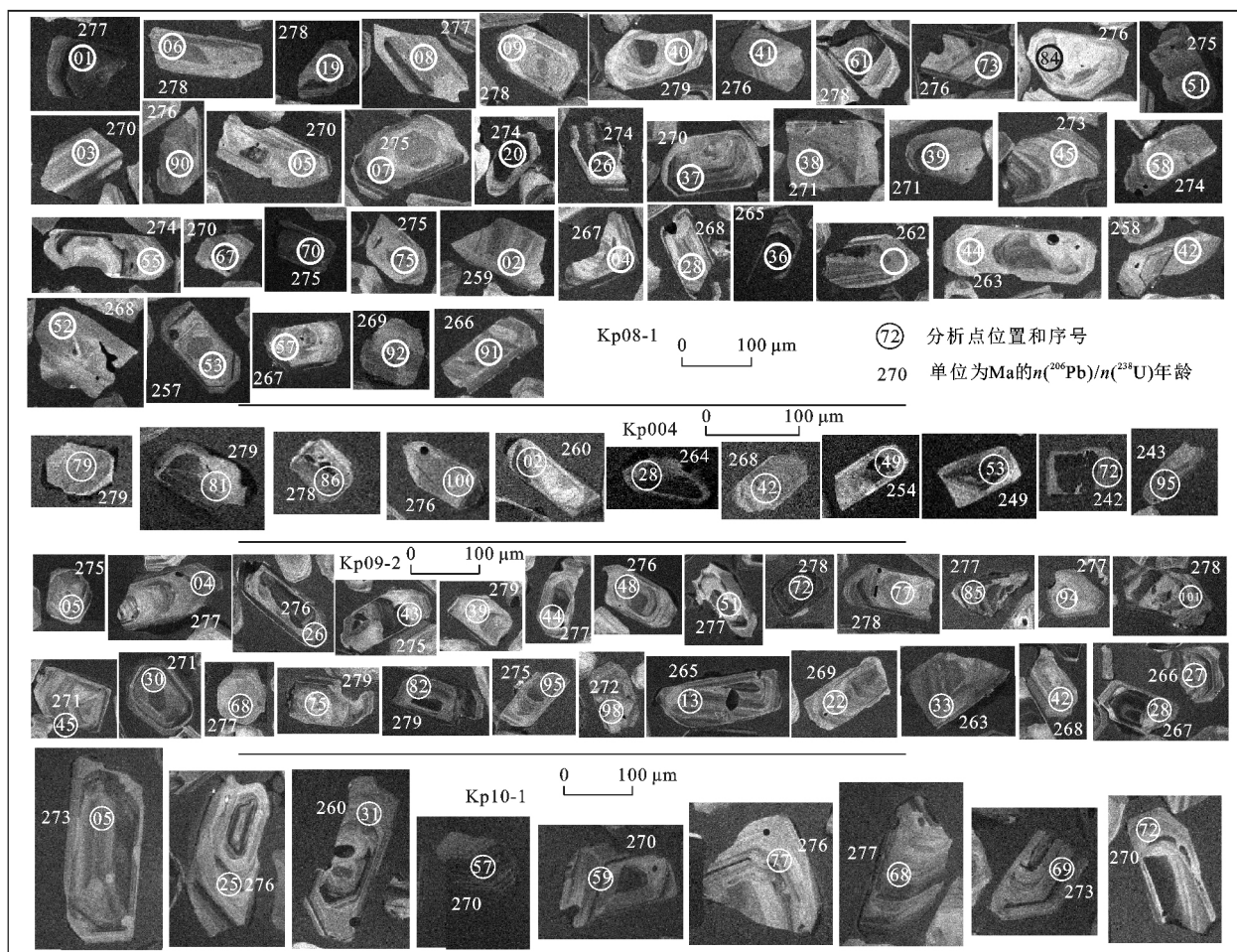


图5 本项分析的部分二叠系砂岩样品中年龄小于 280 Ma 的碎屑锆石 CL 图像

Fig. 5 CL Images of Some Younger Detrital Zircons with Ages Less Than 280 Ma from Permian Sandstone Samples in This Study

沉积岩样品中的年轻碎屑锆石是一类具有确切地质意义的岩浆锆石。基于这些碎屑锆石资料,可以对这些样品所在层位沉积地层的沉积时代以及夹于其中的玄武岩喷发时限进行探讨。

#### 4.2 陆源碎屑岩沉积时代

讨论柯坪地区二叠纪地层的沉积时代,主要是因为近年发表的关于玄武岩时代的多篇论文都把其置于早二叠世,这样就与依据古生物化石确定的已有地层划分方案产生了矛盾。应该说这一问题的核心是夹有玄武岩的沉积岩系是否都是在早二叠世(270~290 Ma)甚至是在 290 Ma 前后沉积的。

关于柯坪地区二叠纪地层划分,前人给出了不同的划分方案。《西北地区区域地层表:新疆维吾尔自治区分册》把印干山及其以北地区的二叠纪地层称为阿恰群,自下而上划分为下二叠统库普库兹满组和开派兹雷克组、上二叠统沙井子组;把柯坪县城东、西两侧山区出露的二叠纪地层称为比尤列提群,

自下而上划分为巴立克立克组和卡伦达尔组,分别对比为阿恰群库普库兹满组和开派兹雷克组<sup>[13]</sup>。后来,《全国地层多重划分对比研究(65):新疆维吾尔自治区岩石地层》沿用了这一划分方案<sup>[36]</sup>。Chen 等系统总结已有研究资料,对该区二叠纪地层提出了新的划分方案,认为在印干山以东地区的二叠系自下而上为下二叠统(早期)康克林组、下二叠统(晚期)库普库兹满组、中二叠统开派兹雷克组、上二叠统沙井子组<sup>[12]</sup>。在印干山以西地区,巴立克立克组灰岩之下的碎屑岩沿用新疆地质矿产局地质研究所等命名的乌坦库勒组<sup>[37]</sup>,将其分别对比为库普库兹满组的下部和上部,其上的卡伦达尔组对比为开派兹雷克组下部。

根据在柯坪塔格北段、衣木干他乌和印干山等地区的观察,该区的二叠纪地层自下而上包括了康克林组灰岩、下部以红色为主的陆源碎屑岩、下部玄武岩夹陆源碎屑岩(前人划分的库普库兹满组)、灰

色—灰黑色灰岩(前人划分的巴立克立克组)、上部以红色为主的陆源碎屑岩、上部玄武岩夹陆源碎屑岩(前人划分的开派兹雷克组或卡仑达尔组)和顶部的陆源碎屑岩(前人划分的沙井子组)。其中,在不同地区出露的位于康克林组之上的下部陆源碎屑岩的岩性、岩石序列、沉积构造、沉积厚度和颜色等宏观特征基本一致。下部玄武岩分布比较广泛,在柯坪塔格和印干山地区都有分布。被称为巴立克立克组的灰色—灰黑色灰岩除了在衣木干他乌以西地区大量发育外,在柯坪塔格北段西坡见其直接覆盖在下部玄武岩之上。该套灰岩在印干山东段相应层位也有发育,只是厚度比较小。在衣木干他乌地区,虽然未见下部玄武岩,但是下部碎屑岩被与印干山和柯坪塔格地区类似的基性岩墙穿切。这些现象表明,衣木干他乌以西地区被称为巴立克立克组灰岩,在区域上分布比较广泛,可能由于水动力环境等沉积环境的差异,导致其在不同地区沉积厚度不同。灰岩之上的碎屑岩、夹于上部玄武岩中的陆源碎屑岩和覆盖在上部玄武岩之上的陆源碎屑岩在宏观特征上没有明显差别。简而言之,如果不考虑两套玄武岩,则柯坪地区二叠纪地层大体上可以划分为4部分:下部灰岩(康克林组)、下部陆源碎屑岩(库普库兹满组)、中部灰岩(巴立克立克组)和上部陆源碎屑岩(下部为开派兹雷克组和卡仑达尔组,上部为沙井子组)。其中,康克林组灰岩和巴立克立克组灰岩都含有二叠纪动物化石,指示其层位时代分别为早二叠世和中二叠世<sup>[38]</sup>。沙井子组含有的古生物化石指示其时代为晚二叠世<sup>[16,38]</sup>。

#### 4.2.1 下部玄武岩之下的陆源碎屑岩沉积时代

下部玄武岩之下的3个碎屑锆石样品分别采集自印干山东北磷矿厂、柯坪塔格北段西坡和衣木干他乌西坡的陆源碎屑岩系。这3个样品都含有数量不等的年龄小于290 Ma的碎屑锆石,其中印干山东北磷矿厂样品16P02中年龄为280~289 Ma的碎屑锆石数量最多,达18粒,约占所分析锆石数量的20%。这3个样品中,还含有几粒年龄小于280 Ma的碎屑锆石,但其年龄也接近280 Ma。柯坪塔格北段西坡样品16P01中有1粒这种锆石,年龄为277 Ma;印干山东北磷矿厂样品16P02中有1粒,年龄为278 Ma;衣木干他乌西坡样品Kp07-4中有2粒,年龄为276 Ma和279 Ma。虽然不同剖面碎屑锆石组成略有不同,年轻碎屑锆石的含量也差别较大,但是根据区域对比,这3个样品都位于下部玄武岩之下,都距离含有化石的康克林组不远,它们的

层位大体相当。考虑到年龄小于280 Ma的碎屑锆石数量比较少,其晶体特征与年龄大于280 Ma的锆石差别不是很明显,暂时认为年龄在280 Ma前后的锆石有可能都是同期岩浆活动的产物。因此,康克林组灰岩和下部玄武岩之间的陆源碎屑岩沉积时代下限不太可能早于280 Ma,考虑到碎屑锆石从结晶经过隆升剥蚀搬运到再沉积需要一定的时间,其沉积时代下限也许不会早于275 Ma。

#### 4.2.2 下部玄武岩中陆源碎屑岩夹层沉积时代

下部玄武岩夹层砂岩中的1个样品(Kp10-1)采集自印干山东北磷矿厂。该样品中含有12粒年龄小于280 Ma的碎屑锆石,其中1粒260 Ma、3粒270 Ma、2粒273 Ma、6粒276~279 Ma。该样品中还含有20粒年龄介于280~289 Ma的碎屑锆石。就锆石特征而言,其中年龄为270 Ma前后的碎屑锆石与Huang等报道的卡拉峻岩体中的锆石<sup>[24]</sup>在晶体特征和年龄方面都非常类似。因此,推测这些年轻的碎屑锆石可能来自卡拉峻岩体或大体同时代的其他地质体。这样,夹于下部两层玄武岩之间的碎屑岩沉积时代下限显然不会早于卡拉峻岩体的侵入结晶时代。而目前的研究表明,该岩体侵入很可能发生在早二叠世晚期的271 Ma<sup>[24]</sup>或276 Ma<sup>[23]</sup>。再考虑到隆升剥蚀搬运再沉积等因素,该碎屑岩系的沉积很可能发生在早二叠世以后,即其沉积时代下限有可能不早于270 Ma。

#### 4.2.3 两套玄武岩之间陆源碎屑岩沉积时代

采集自两套玄武岩之间的3个碎屑岩样品以及邹思远等报道的采集自这套碎屑岩顶部的一个碎屑锆石样品<sup>[20]</sup>,都含有数量可观的年龄小于280 Ma的碎屑锆石(表2)。其中,除了大量年龄介于270~279 Ma的碎屑锆石外,这些样品还含有数量比较多的年龄介于260~269 Ma和年龄小于260 Ma的碎屑锆石。从这些碎屑锆石的晶体特征来看,年龄为270 Ma左右的碎屑锆石与卡拉峻等地区早二叠世晚期侵入岩中的锆石非常类似。因此,暂时认为这些碎屑锆石有可能主要来自这期岩浆活动形成的岩浆岩。

至于其中年龄小于270 Ma的碎屑锆石,特别是年龄为260 Ma左右的碎屑锆石,其晶体特征和 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值(图5、表1)显示它们都可能是岩浆成因锆石。尽管这些年轻碎屑锆石的数量比较少,特别是目前在区域上还没有发现这一时期的侵入岩,笔者还不能确定这些年轻碎屑锆石的年龄是分析误差所致,还是它们的确反映了区域上存在但是

**Fig. 6** Eruptive Timing of Permian Stratigraphic Deposition and Basalts Holden in Keping Area, the Northwest Margin of Tarim Basin



历了隆升剥蚀搬运再沉积的,这一时限有可能不老于 275 Ma。由于其中没有出现年龄为 270 Ma 左右的碎屑锆石,推测其沉积时代可能为早二叠世晚期。下部玄武岩中陆源碎屑岩夹层的碎屑岩样品与两套玄武岩之间陆源碎屑岩、上部玄武岩所夹陆源碎屑岩样品在碎屑锆石组成上没有明显区别,都以含有数量比较多的年龄为 270 Ma 左右的碎屑锆石为特征,表明其沉积时代下限不可能早于 270 Ma。也就是说,它们的沉积时代应为中二叠世甚至更晚。考虑到覆盖在下部玄武岩之上的含有古生物化石的碳酸盐岩,其层位大体相当于区域上以碳酸盐岩为主的巴立克立克组,其中所含的动物化石指示其形成时代为中二叠世<sup>[14]</sup>。这样基本可以确定,下部玄武岩中陆源碎屑岩夹层应该也是在中二叠世沉积的。尽管在柯坪塔格北段西坡和印干山东北磷矿厂下部玄武岩之上的碎屑岩样品中都含有比较多的年龄小于 270 Ma 的年轻碎屑锆石,但是由于区域上没有发现可以提供这些年轻碎屑锆石的地质体,所以其确切地质意义还不能确定。尽管如此,这些年轻碎屑锆石的存在目前还不能排除该套地层是在晚二叠世沉积的可能。考虑到覆盖在上部玄武岩之上的沙井子组碎屑岩中含有晚二叠世的古生物化石<sup>[16,38]</sup>,沙井子组之下原来划归开派兹雷克组和卡仑达尔组碎屑岩的沉积时代应该大致为中二叠世晚期至晚二叠世早期。综合已有资料,初步得出了柯坪地区二叠纪地层的划分方案:下部康克林组形成于早二叠世早期;其上的位于下部玄武岩之下的陆源碎屑岩形成于早二叠世晚期;下部玄武岩及其中的陆源碎屑岩夹层和覆盖其上的灰岩形成于中二叠世;介于该套灰岩和沙井子组之间的陆源碎屑岩夹玄武岩形成于中二叠世还是晚二叠世,目前的资料还不能确定,暂时将其置于晚二叠世,但不排除其下部或大部分属于中二叠世晚期的可能(图 6)。

考虑到碎屑锆石隆升剥蚀搬运再沉积过程,也许该区康克林组与下部玄武岩之间的陆源碎屑岩也是在中二叠世沉积的,这就要求在其与康克林组灰岩之间存在一个较长地质时期的沉积间断。柯坪塔格、衣木干他乌和印干山等地区出露的覆盖在康克林组灰岩之上的碎屑岩都具有杂色陆源碎屑岩系特征,指示其沉积环境与康克林组灰岩是截然不同的,这一沉积间断应该没有问题,问题是其持续了多长时间。

根据碎屑锆石来确定该套地层的沉积时代存在着很大的不确定性。根据目前的碎屑锆石资料,仅

能将这套碎屑岩夹玄武岩和灰岩地层分成两套,并初步给出了其沉积时代的下限,而对其沉积时代的上限,还都是根据已有碎屑锆石和古生物化石资料推测的。

从区域上早二叠世侵入岩分布和已有碎屑锆石资料可以推测,在二叠纪期间,柯坪地区可能发生了沉积中心从天山向塔里木盆地方向的逐渐迁移。在卡拉峻一带的康克林组之上的碎屑岩沉积时,印干山和柯坪等地区可能处于隆起环境;在印干山和柯坪等地区夹有玄武岩的二叠纪地层沉积时,卡拉峻一带已经隆起成为其物源区之一。即前人划分的位于康克林组灰岩之上的二叠纪碎屑岩,出露在卡拉峻一带及其西北地区的岩层,在层位上可能要低于出露在卡拉峻东南的柯坪塔格、衣木干他乌和印干山等地区的岩层。

#### 4.3 玄武岩喷发时限

柯坪地区二叠纪玄武岩是近年地质学界研究的热点,被普遍认为是塔里木大火成岩省的重要组成部分<sup>[1-2,11]</sup>。关于该区玄武岩喷发时限,早期是根据地层时代将其置于早二叠世。近年来,随着国际地层表的修订,原来位于其下的被置于晚石炭世的康克林组的沉积时代被重新确定为二叠纪,置于早二叠世早期,其上的碎屑岩夹玄武岩被相应改置于早二叠世晚期至中二叠世。然而,关于该大火成岩省的时代却没有做相应的更改。近年发表的所有相关文献都将该区玄武岩喷发时限(即该大火成岩省的时代)置于早二叠世,有的甚至将其置于早二叠世早期,所依据的资料主要是来自于玄武岩的锆石定年分析结果。把该区玄武岩喷发时限置于早二叠世或早二叠世早期,不仅与该区地层划分方案相矛盾,而且所发表的锆石年龄从 270 Ma 到 290 Ma 不等。同一层位的玄武岩,不同研究者发表的锆石年龄竟然相差近 20 Ma,且其中绝大部分锆石年龄都老于玄武岩全岩 Ar-Ar 年龄。这就自然引起人们的思考,问题出在何处,难道是古生物地层时代误差太大,还是这些锆石年龄有问题?

玄武岩中的锆石是否是从该玄武质岩浆结晶的,锆石的氧同位素分析是一种比较有效的判别途径。但是,目前发表的塔里木盆地二叠纪玄武岩所有锆石年龄都缺乏这方面的资料。目前发表的塔里木盆地西北缘柯坪地区玄武岩中的锆石晶体结构与区域上花岗岩锆石具有明显的相似性,也与笔者获得的夹有这些玄武岩的陆源碎屑岩中的碎屑锆石非常类似。本项研究从该区上部玄武岩采集了两个样

品,不仅从中分选出的锆石非常少,而且锆石阴极发光图像显示其可能都属于捕获锆石,定年结果也非常分散。因此,把该区已有玄武岩的锆石年龄解释为该区玄武岩喷发时限,是值得商榷的。

针对上述问题,笔者试图尝试通过砂岩碎屑锆石定年分析,确定夹有玄武岩的陆源碎屑岩沉积时代下限,来间接探讨玄武岩喷发时限。本文及文献[20]发表的采集自4个地区共10个样品的碎屑锆石定年资料,显示夹有玄武岩的碎屑岩沉积时代下限不可能早于280 Ma。基于这些碎屑锆石资料对该区二叠纪地层层序的分析表明,柯坪地区两套玄武岩中的下部玄武岩喷发时限可以肯定是中二叠世。而上部玄武岩喷发时限是中二叠世还是晚二叠世,目前的资料还不能确定。如果两套玄武岩之间碎屑岩样品中的碎屑锆石260 Ma左右年龄有确切地质意义的话,考虑到上部玄武岩之上沙井子组含有晚二叠世古生物化石,则上部玄武岩的喷发时限应该是晚二叠世早期;如果这些碎屑锆石年龄(260 Ma左右)不具有确切地质意义,则上部玄武岩的喷发时限有可能为中二叠世晚期。不管是何种情况,根据本文获得的碎屑锆石资料,目前基本可以确定柯坪地区两套玄武岩喷发时限不是发生在290 Ma前后,也不是发生在280 Ma以前的早二叠世,而是发生在270 Ma以后的中二叠世或中二叠世至晚二叠世早期。

在下部玄武岩喷发之后,紧接着就在其上沉积了一套碳酸盐岩地层。在柯坪塔格北段西坡的这套碳酸盐岩有数十米厚,在印干山东段的厚度只有数米,而在柯坪县城以西地区的厚度将近200 m。在这套碳酸盐岩之上,接着沉积了数百米厚的陆源碎屑岩,然后才开始了上部玄武岩的喷发。这一岩石序列表明,在两套玄武岩喷发之间有可能间隔了比较长的地质时期。这样,下部玄武岩和上部玄武岩是否在成因方面有明显差别?它们是否属于一个大火成岩省?还有待于地质年代学和地球化学的进一步研究。

上述关于柯坪地区玄武岩喷发时代的初步认识,与从玄武岩中获得的全岩Ar-Ar年龄是大体一致的<sup>[9,39]</sup>。由此推论,以柯坪地区为代表的塔里木地区二叠纪玄武岩喷发时限与峨眉山玄武岩喷发时限,不是分别形成于早二叠世和中一晚二叠世<sup>[40]</sup>,而可能是比较相近地都形成于中一晚二叠世。相近的喷发时限表明二者也许具有相同的成因,即有可能是同一地质时期地幔岩浆活动和壳幔相互

作用的产物。

## 5 结 语

(1)基于碎屑锆石年龄资料,对塔里木盆地西北缘柯坪地区夹有玄武岩的二叠纪碎屑岩沉积时代的下限进行了初步探讨,依据这一结果对该区玄武岩的喷发时限进行了推论,得出的地层沉积时代的结论与古生物地层划分是基本一致的。由此限定该区玄武岩喷发时限不太可能早于270 Ma,有可能为中一晚二叠世。然而,这一研究虽然排除了该区玄武岩在早二叠世喷发的可能,但是由于碎屑锆石年龄资料的制约因素和局限性,该区玄武岩具体喷发时限还有待于采用新的定年技术和方法开展深入系统的研究。

(2)对玄武岩进行锆石定年研究,以及对所获得的年龄结果进行地质解释都需要慎重。玄武岩中的锆石是同岩浆喷发冷凝结晶的,还是岩浆在上升喷发过程中从围岩捕获的,需要有这些锆石成因研究的系统资料作为基础。

本研究使用了新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局1:200 000苏巴什幅和乌什幅等区域地质调查资料,部分样品定年分析得到了中国地质大学(武汉)刘勇胜教授等的协助和指导,两位匿名审稿人对本文初稿提出的建设性修改意见使我们受益匪浅,在此一并致谢。

## 参 考 文 献 :

## References :

- [1] XU Y G, WEI X, LUO Z Y, et al. The Early Permian Tarim Large Igneous Province: Main Characteristics and a Plume Incubation Model[J]. *Lithos*, 2014, 204 (1): 20-35.
- [2] 杨树锋, 陈汉林, 厉子龙, 等. 塔里木早二叠世大火成岩省[J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(2): 187-199. YANG Shu-feng, CHEN Han-lin, LI Zi-long, et al. Early Permian Tarim Large Igneous Province in Northwest China[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 44(2): 187-199.
- [3] 李 勇, 苏 文, 孔 屏, 等. 塔里木盆地塔中—巴楚地区早二叠世岩浆岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2007, 23(5): 1097-1107. LI Yong, SU Wen, KONG Ping, et al. Zircon U-Pb Ages of the Early Permian Magmatic Rocks in the Tazhong-Bachu Region, Tarim Basin by LA-ICP-MS [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 1097-1107.
- [4] 张达玉, 周涛发, 袁 峰, 等. 塔里木柯坪地区库普库

- 兹满组玄武岩锆石 LA-ICPMS 年代学、Hf 同位素特征及其意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 963-974.
- ZHANG Da-yu, ZHOU Tao-fa, YUAN Feng, et al. LA-ICPMS U-Pb Ages, Hf Isotope Characteristics of Zircons from Basalts in the Kupukuziman Formation, Keping Area, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 963-974.
- [5] 陈咪咪, 田伟, 张自力, 等. 塔里木二叠纪基性—中性—酸性岩浆岩的年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 559-572.
- CHEN Mi-mi, TIAN Wei, ZHANG Zi-li, et al. Geochronology of the Permian Basic-intermediate-acidic Magma Suite from Tarim, Northwest China and Its Geological Implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(2): 559-572.
- [6] YU X, YANG S F, CHEN H L, et al. Permian Flood Basalts from the Tarim Basin, Northwest China: SHRIMP Zircon U-Pb Dating and Geochemical Characteristics[J]. Gondwana Research, 2011, 20: 485-497.
- [7] 代友旭, 张新勇, 阎琨, 等. 新疆柯坪地区早二叠世玄武岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2017, 36(1): 1-13.
- DAI You-xu, ZHANG Xin-yong, YAN Kun, et al. Zircon U-Pb Chronology, Geochemical Characteristics of the Early Permian Basalt in the Keping Area, Xinjiang and Their Geological Significance[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(1): 1-13.
- [8] 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 等. 塔里木盆地二叠纪基性岩带的确定及大地构造意义[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 77-87.
- CHEN Han-lin, YANG Shu-feng, DONG Chuan-wan, et al. Confirmation of Permian Basite Zone in Tarim Basin and Its Tectonic Significance[J]. Geochimica, 1997, 26(6): 77-87.
- [9] ZHANG Y T, LIU J Q, GUO Z F. Permian Basaltic Rocks in the Tarim Basin, NW China: Implications for Plume-lithosphere Interaction[J]. Gondwana Research, 2010, 18: 596-610.
- [10] 位荀, 徐义刚. 巴楚辉绿岩墙的岩石成因及其对塔里木大火成岩省岩浆演化的启示[J]. 岩石学报, 2013, 29(10): 3323-3335.
- WEI Xun, XU Yi-gang. Petrogenesis of the Mafic Dykes from Bachu and Implications for the Magma Evolution of the Tarim Large Igneous Province, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(10): 3323-3335.
- [11] LI Z L, CHEN H L, SONG B, et al. Temporal Evolution of the Permian Large Igneous Province in Tarim Basin in Northwestern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42(5): 917-927.
- [12] CHEN Z Q, SHI G R. Late Paleozoic Depositional History of the Tarim Basin, Northwest China: An Integration of Biostratigraphic and Lithostratigraphic Constraints[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(8): 1323-1354.
- [13] 新疆维吾尔自治区区域地层表编写组. 西北地区区域地层表: 新疆维吾尔自治区分册[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- Writing Group of Regional Stratigraphic Table of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Stratigraphic Table of Northwest Region of China: Fascicule of Xinjiang Uygur Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981.
- [14] 韩玉玲. 新疆二叠纪古地理[J]. 新疆地质, 2000, 18(4): 330-334.
- HAN Yu-ling. Paleogeography of the Permian in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2000, 18(4): 330-334.
- [15] 李罗照, 姜衍文, 刘秉理, 等. 塔里木盆地西北缘沙井子组的地质时代[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(3): 109-110.
- LI Luo-zhao, JIANG Yan-wen, LIU Bing-li, et al. Geological Age of Shajingzi Formation in Northwestern Margin of Tarim Basin[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1992, 14(3): 109-110.
- [16] 刘秉理, 李罗照, 姜衍文, 等. 新疆柯坪上二叠统沙井子组的重新厘订[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(3): 211-215.
- LIU Bing-li, LI Luo-zhao, JIANG Yan-wen, et al. Redefinition of Upper Permian Shajingzi Formation in Keping, Xinjiang[J]. Oil and Gas Geology, 1995, 16(3): 211-215.
- [17] LIU Y S, HU Z C, ZONG K Q, et al. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [18] LIU Y S, HU Z C, GAO S, et al. In-situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS Without Applying an Internal Standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [19] LUDWIG K R. User's Manual for Isoplot/Ex Rev. 2. 49: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[R]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2001.
- [20] 邹思远, 厉子龙, 任钟元, 等. 塔里木柯坪地区二叠系沉积岩碎屑锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素特征及其对塔里木块体地质演化的限定[J]. 岩石学报, 2013, 29(10): 3369-3388.
- ZOU Si-yuan, LI Zi-long, REN Zhong-yuan, et al. U-

- Pb Dating and Hf Isotopic Compositions of Detrital Zircons from Permian Sedimentary Rocks in Keping Area of Tarim Basin, Xinjiang, China: Constraints on Geological Evolution of Tarim Block[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(10): 3369-3388.
- [21] 周黎霞, 胡世玲, 王利刚, 等. 塔里木盆地西北缘皮羌辉长岩体的时代讨论[J]. *地质科学*, 2010, 45(4): 1057-1065.
- ZHOU Li-xia, HU Shi-ling, WANG Li-gang, et al. The Age of Piqiang Gabbroid, NW Margin of Tarim Basin, NW China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(4): 1057-1065.
- [22] ZHANG C L, XU Y G, LI Z X, et al. Diverse Permian Magmatism in the Tarim Block, NW China: Genetically Linked to the Permian Tarim Mantle Plume? [J]. *Lithos*, 2010, 119(3/4): 537-552.
- [23] ZHANG C L, ZOU H B. Permian A-type Granites in Tarim and Western Part of Central Asian Orogenic Belt (CAOB): Genetically Related to a Common Permian Mantle Plume? [J]. *Lithos*, 2013, 172/173: 47-60.
- [24] HUANG H, ZHANG Z C, KUSKY T, et al. Continental Vertical Growth in the Transitional Zone Between South Tianshan and Tarim, Western Xinjiang, NW China: Insight from the Permian Halajun A1-type Granitic Magmatism[J]. *Lithos*, 2012, 155(1): 49-66.
- [25] 杨富全, 王立本, 叶锦华, 等. 新疆霍什布拉克地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄[J]. *中国区域地质*, 2001, 20(3): 267-273.
- YANG Fu-quan, WANG Li-ben, YE Jin-hua, et al. Zircon U-Pb Ages of Granites in the Huoshi Bulak Area, Xinjiang[J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(3): 267-273.
- [26] 邹天人, 徐珏, 陈伟十, 等. 塔里木盆地北缘碱性岩型稀有稀土矿床[J]. *矿产地质*, 2002, 21(增): 845-848.
- ZOU Tian-ren, XU Jue, CHEN Wei-shi, et al. Rare and Rare Earth Mineral Deposits Related to Alkaline Rocks on the Northern Margin of Tarim Basin, Xinjiang, China[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(S): 845-848.
- [27] 王超, 刘良, 罗金海, 等. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用: 以阔克萨彦岭地区巴雷公花岗岩为例[J]. *岩石学报*, 2007, 23(8): 1830-1840.
- WANG Chao, LIU Liang, LUO Jin-hai, et al. Late Paleozoic Post-collisional Magmatism in the Southwestern Tianshan Orogenic Belt: Take the Baleigong Pluton in the Kokshal Region as an Example[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(8): 1830-1840.
- [28] 王超, 罗金海, 车自成, 等. 新疆欧西达坂花岗质岩体地球化学特征和锆石 LA-ICP-MS 定年: 西南天山古生代洋盆俯冲作用过程的启示[J]. *地质学报*, 2009, 83(2): 272-283.
- WANG Chao, LUO Jin-hai, CHE Zi-cheng, et al. Geochemical Characteristics and U-Pb LA-ICP-MS Zircon Dating of the Oxidaban Pluton from Xinjiang, China: Implications for a Paleozoic Oceanic Subduction Process in Southwestern Tianshan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(2): 272-283.
- [29] 李宁波, 牛贺才, 单强, 等. 新疆尼勒克县圆头山后碰撞花岗斑岩的同位素年代学及地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2013, 29(10): 3402-3412.
- LI Ning-bo, NIU He-cai, SHAN Qiang, et al. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Post-collisional Granitic Porphyry from Yuantoushan, Nileke, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(10): 3402-3412.
- [30] 刘博, 陈正乐, 任荣, 等. 新疆南天山缝合带的形成时限: 来自阔克萨彦岭花岗岩体的锆石年龄新证据[J]. *地质通报*, 2013, 32(9): 1371-1384.
- LIU Bo, CHEN Zheng-le, REN Rong, et al. Timing of the South Tianshan Suture Zone: New Evidence of Zircon Ages from the Granitic Plutons in Kokshal Area[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(9): 1371-1384.
- [31] 罗金海, 车自成, 张国锋, 等. 塔里木盆地西北缘与南天山早—中二叠世盆山耦合特征[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2506-2514.
- LUO Jin-hai, CHE Zi-cheng, ZHANG Guo-feng, et al. Early-Middle Permian Basin-mountain Coupling Features Between Northwestern Margin of the Tarim Basin and the South Tianshan Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2506-2514.
- [32] 罗金海, 张敬艺, 王超, 等. 塔里木盆地西北缘早二叠世后碰撞花岗质岩浆活动及其构造意义[J]. *地质科学*, 2010, 45(1): 66-79.
- LUO Jin-hai, ZHANG Jing-yi, WANG Chao, et al. Early Permian Post-collisional Granitoid Magmatism in the Northeastern Margin of Tarim Basin and Its Tectonic Significance[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(1): 66-79.
- [33] 杨树锋, 陈汉林, 董传万, 等. 塔里木盆地二叠纪正长岩的发现及其地球动力学意义[J]. *地球化学*, 1996, 25(2): 121-128.
- YANG Shu-feng, CHEN Han-lin, DONG Chuan-wan, et al. The Discovery of Permian Syenite Inside Tarim Basin and Its Geodynamic Significance[J]. *Geochimica*, 1996, 25(2): 121-128.



- [34] 杨树锋,厉子龙,陈汉林,等. 塔里木二叠纪石英正长斑岩岩墙的发现及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1405-1412.  
YANG Shu-feng, LI Zi-long, CHEN Han-lin, et al. Discovery of a Permian Quartz Syenitic Porphyritic Dyke from the Tarim Basin and Its Tectonic Implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5):1405-1412.
- [35] 位 荀,徐义刚. 塔里木巴楚小海子正长岩杂岩体的岩石成因探讨[J]. 岩石学报, 2011, 27(10):2984-3004.  
WEI Xun, XU Yi-gang. Petrogenesis of Xiaohaizi Syenite Complex from Bachu Area, Tarim[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(10):2984-3004.
- [36] 蔡士赐. 全国地层多重划分对比研究(65):新疆维吾尔自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1999.  
CAI Shi-ci. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy in China (65): Lithostratigraphy of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999.
- [37] 新疆地质矿产局地质研究所, 中国地质科学院地质研究所. 新疆柯坪地区石炭系、二叠系及其生物群[M]. 北京:海洋出版社, 1987.  
Institute of Geology of Xinjiang Geological Bureau, Institute of Geology of Chinese Academy of Geological Sciences. Carboniferous and Permian Stratigraphy and Their Biota in Kalpin Region, Xinjiang [M]. Beijing: China Ocean Press, 1987.
- [38] 李罗照,李艺斌,肖传桃,等. 塔里木盆地石炭纪—二叠纪生物地层[M]. 北京:地质出版社, 1996.  
LI Luo-zhao, LI Yi-bin, XIAO Chuan-tao, et al. Carboniferous to Permian Biostratigraphy of the Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [39] 刘亚雷,胡秀芳,黄智斌,等. 塔里木盆地塔北隆起西部火山岩 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年代学和地球化学特征[J]. 岩石学报, 2012, 28(8):2423-2434.  
LIU Ya-lei, HU Xiu-fang, HUANG Zhi-bin, et al.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Geochronology and Geochemistry of the Volcanic Rocks from the West Segment of Tabei Uplift, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(8):2423-2434.
- [40] 徐义刚,何 斌,罗震宇,等. 我国大火成岩省和地幔柱研究进展与展望[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(1):25-39.  
XU Yi-gang, HE Bin, LUO Zhen-yu, et al. Study on Mantle Plume and Large Igneous Provinces in China: An Overview and Perspectives[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(1):25-39.

### 《地球科学与环境学报》2017 年度约稿函

尊敬的各位专家学者:

《地球科学与环境学报》(以下简称《学报》)自 1979 年创刊以来,得到了各位专家学者的大力支持,使期刊得到了快速发展。《学报》系地学综合性权威学术期刊,刊登的主要内容有基础地质与矿产地质、水资源与环境、工程地质、应用地球物理和地球信息科学等。为了不断提升《学报》的学术质量和影响力,特向各位专家学者约稿,诚盼各位专家学者能鼎力支持《学报》的发展。

《学报》目前的优势包括:

1. 中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)刊源;
2. 特约稿不收取版面费,并且刊出后向作者支付一定稿酬;
3. 发表周期短;
4. 对学术质量高、有重大基金项目支持的论文优先发表;
5. 刊登综述类论文;
6. 可同期刊登同一主题的系列成果。

联系地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社《地球科学与环境学报》编辑部

邮政编码:710064

电 话:029-82334686

E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn;jesechd@163.com

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

《地球科学与环境学报》编辑部