

马收先, 吕同艳, 武国利, 等. 平泉地区本溪组和刘家沟组厘定[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 728-740.

Ma Shouxian, Lv Tongyan, Wu Guoli, et al. The revision of the Benxi and Liujiagou Formations in Pingquan area[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 728-740(in Chinese with English abstract).

## 平泉地区本溪组和刘家沟组厘定

马收先<sup>1</sup> 吕同艳<sup>1</sup> 武国利<sup>2</sup> 段亮<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 1:20万平泉幅和1:5万杨树岭幅区域地质图将平泉地区大吉口和南台剖面不整合于马家沟组之上的本溪组地层划为刘家沟组。文章对平泉地区各剖面本溪组进行了岩石地层对比和碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定, 发现大吉口和南台剖面与山湾子本溪组具有相似的岩相组合、砾石成分和碎屑锆石年龄组成, 在此基础上提出位于不整合面之上的是本溪组, 而非刘家沟组的新认识。

**关键词:** 平泉; 本溪组; 刘家沟组; 地层划分; 锆石 U-Pb; LA-ICP-MS

**中图分类号:** P534.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0728-13

在平泉—承德一带残留了一套上石炭—中三叠统海陆交互相—陆相地层, 包括月门沟群、石盒子群和石千峰群。这套地层区域上平行不整合于奥陶系之上, 在整个华北克拉通均有发育。在平泉—承德地区, 该地层以石千峰群发育最为典型, 由一套砖红色的碎屑岩组成, 被河北省地质矿产局定为省内的层型剖面<sup>[1]</sup>。1:20万平泉幅最早将平泉地区上石盒子组之上、杏石口组之下的地层, 自下而上划分为石千峰组、丁家沟组、下板城组和胡杖子组。卢功一和窦文生<sup>[2]</sup>认为河北的石千峰群从地层层序、岩石组合、生物群等特征方面均可与山西及陕甘宁盆地对比, 因此将石千峰组之上的丁家沟组、下板城组和胡杖子组3个组改为华北统一名称刘家沟组、和尚沟组和二马营组。这一划分方案沿用至今。然而, 受地层出露和认识的局限, 局部地层归属不清, 需要进一步厘定。

受中生代多期构造挤压—伸展的影响, 上石炭

—中三叠统地层下部的月门沟群和石盒子群在大部分地区缺失, 残留地层主体为中下三叠统, 沿平泉—古北口断裂分布, 与寒武—奥陶系呈断层接触(图1)。在断裂以东的大吉口和南台一带, 奥陶系不整合面之上的地层尚得以保存。1:20万平泉幅<sup>①</sup>和1:5万杨树岭幅<sup>②</sup>地质图将其归为下三叠统刘家沟组。这意味着华北克拉通盆地北缘于二叠纪末期沿南台—大吉口一带发生超覆, 导致刘家沟组直接覆于中奥陶统马家沟组之上。然而, 岩相组合与古地理演化证据并不支持这一结论。首先, 在本溪组开始沉积之前基底奥陶系保持了相对平缓的地形起伏, 在平泉一带目前没有发现明显的盆地边缘斜坡。其次, 上石炭—中三叠统从本溪组到刘家沟组都是连续的整合接触。再者, 大吉口和南台剖面的岩相组合也不同于松树台一带典型的刘家沟组, 而与山湾子剖面的本溪组一致。因此, 在大吉口和南台剖面不整合于马家沟组之上的可能是本溪组,

收稿日期: 2013-08-11; 改回日期: 2013-12-09

基金项目: 中国地质科学院地质力学研究所所长基金(DZLXJK201301)资助。

作者简介: 马收先, 男, 1982年生, 博士, 主要从事沉积盆地与造山带方面研究; E-mail: msxpony2001@163.com。

① 河北省地质局第二区域地质测量大队. 1:20万平泉幅地质图报告. 1976.

② 长春科技大学. 1:5万杨树岭幅地质图. 1997.

而非刘家沟组。大吉口一带覆盖严重,近些年修路揭露了不整合面之上的部分地层,另外笔者在南台也找到了很好的露头剖面,这为地层对比提供了条件。本文从岩相组合、砾石成分和碎屑锆石年龄等方面,将大吉口和南台剖面与山弯子本溪组和松树台刘家沟组进行对比,重新厘定该地区的本溪组和刘家沟组。

### 1 区域地质概况

研究区位于华北地块北缘,内蒙古隆起与燕山构造带的过渡部位——古北口—平泉断裂一带。北侧的内蒙古隆起由前寒武纪变质基底与晚古生代—早中生代侵入岩组成,且大部分被中生代沉积岩与火山岩所不整合覆盖,仅在局部出露少量的长城系<sup>[3]</sup>。受古亚洲洋向华北板块之下俯冲、闭合过程的影响,内蒙古隆起在晚古生代—早中生代发生构造隆升,发育了一些同期的侵入岩体<sup>[4]</sup>。同时

在华北克拉通内部发育了晚石炭世—中三叠世沉积盆地,研究区就位于大型克拉通盆地的北部边缘。在中三叠世以前,燕山构造带是华北克拉通的一部分<sup>[5,6]</sup>,发育统一的沉积盖层,包括元古宙碎屑岩与碳酸盐岩、寒武—奥陶纪碳酸盐岩和晚石炭世—中三叠世海陆交互相—陆相碎屑岩。自晚三叠世以来,华北地区经历了印支—燕山期的逆冲推覆,发生了强烈的近东西向和北东向褶皱冲断<sup>[7,8]</sup>。先前沉积盖层遭受强烈的剥蚀,仅在局部断陷内残留了一些分散的晚石炭—中三叠世地层,沿古北口—平泉断裂带晚石炭—中三叠世地层最为发育。本文涉及的南台剖面、大吉口剖面位于古北口—平泉断裂NE段的东侧(图1)。

### 2 地层对比

研究区内发育一套有别于华北中南部的晚石炭—中三叠世碎屑岩组合<sup>[9]</sup>,具有边缘相特征:(1)

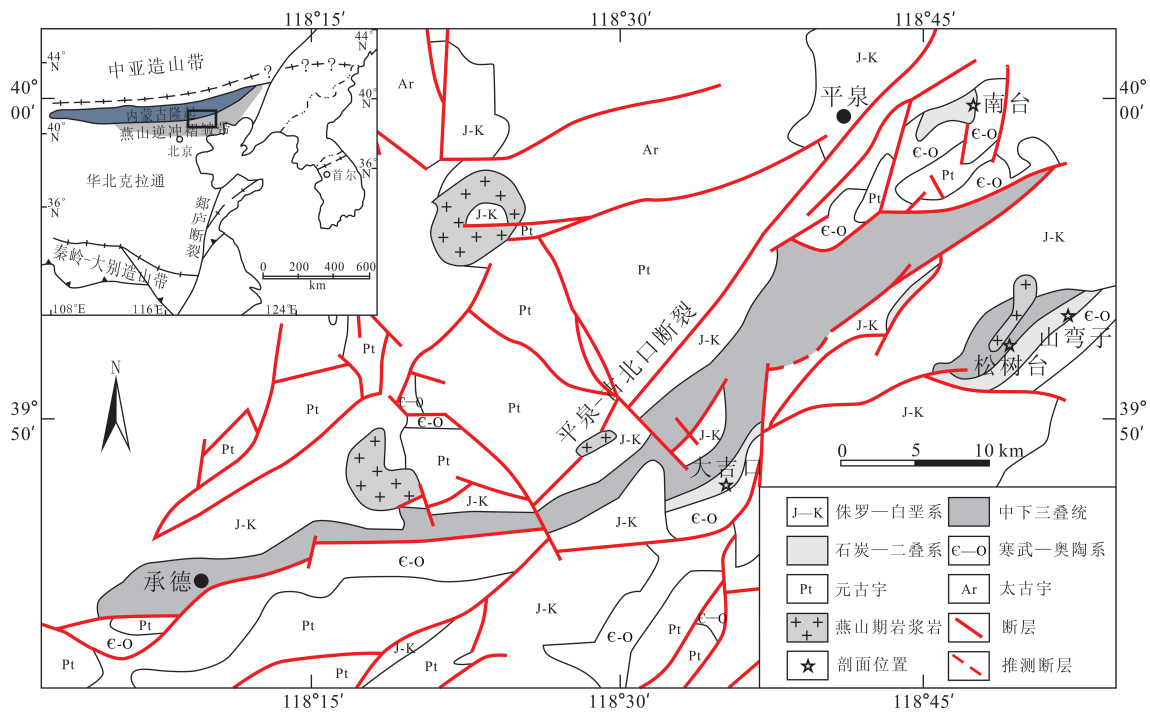


图1 平泉地区地质图(据1:20万平泉幅地质图●修编)

(1:20万平泉幅和1:5万杨树岭幅区域地质图将大吉口和南台剖面划为下三叠统刘家沟组,其直接不整合于奥陶系马家沟组之上;本文将这2个剖面改为石炭—二叠系的本溪组)

Fig.1 Regional geological map (modified after 1:200 000 Pingquan Geological Map)

(In 1:200 000 Pingquan Sheet and 1:50 000 Yangliushuling Sheet geological maps, the Dajikou and Nantai profiles were assigned to Lower Triassic Liujiakou Formation, which directly overlies Ordovician Majiagou Formation in unconformable contact; in this paper, these two profiles are reassigned to Permian Benxi Formation)

①河北省地质局第二区域地质测量大队. 1:20万平泉幅地质图报告. 1976.

地层序列底部的本溪组—太原组和顶部的刘家沟组—二马营组发育砾岩,且整套地层砂岩含量较高;(2)煤层较少发育,灰岩基本不发育;(3)平泉山弯子剖面下石盒子组发育火山碎屑岩,还见火山岩夹层<sup>[10]</sup>。区内以平泉山弯子—松树台剖面出露最为完整。上石炭—中三叠统在垂向上是一个向上变粗的序列,由9组地层组成:本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组、孙家沟组、刘家沟组、和尚沟组和二马营组。底部本溪组—太原组是一套泥页岩、中薄层砂岩与砾岩组合,砂岩主要由石英、燧石组成。山西组为一套石英砂岩。下石盒子组—上石盒子组下部发育火山碎屑岩,上石盒子组上部到孙家沟组由紫红色泥岩组成,含钙质结核,夹砂岩透镜体。刘家沟组发育了一套紫红—灰白色钙质砂岩。和尚沟组是一套中厚层钙质砂砾岩与紫红色泥岩互层。二马营组是一套砂岩和砾岩组合。

鉴于大吉口与南台剖面地层属性的不确定性,以下重点将其与山弯子本溪组和松树台刘家沟组进行地层对比(图2)。南台剖面是一套砂岩与砾岩组合(图2,图3-a),底部的砾岩平行不整合于中奥陶统马家沟组之上。底部和顶部砾岩呈块状,基质—颗粒支撑、次圆状、砂泥质胶结,砾石排列杂乱无规律,表明其为泥石流沉积。中部以平行层理砂岩为主,夹薄层砾岩,属于非限制性流的洪漫沉积。该剖面形成于冲积扇环境。大吉口剖面底部发育铁质泥岩,之上为砾岩和薄层砂岩泥岩互层(图2,图3-b)。砾石呈颗粒支撑,叠瓦状发育,中部夹灰色泥岩和灰白色砂岩。大吉口剖面与山弯子本溪组发育相似的岩相组合,由分选较好和成熟度较高的砾岩与暗色泥岩组成,形成于滨海环境。南台剖面、大吉口剖面以及山弯子本溪组完全不同于松树台剖面的刘家沟组,后者以交错—平行层理砂岩为主(图2,图3-

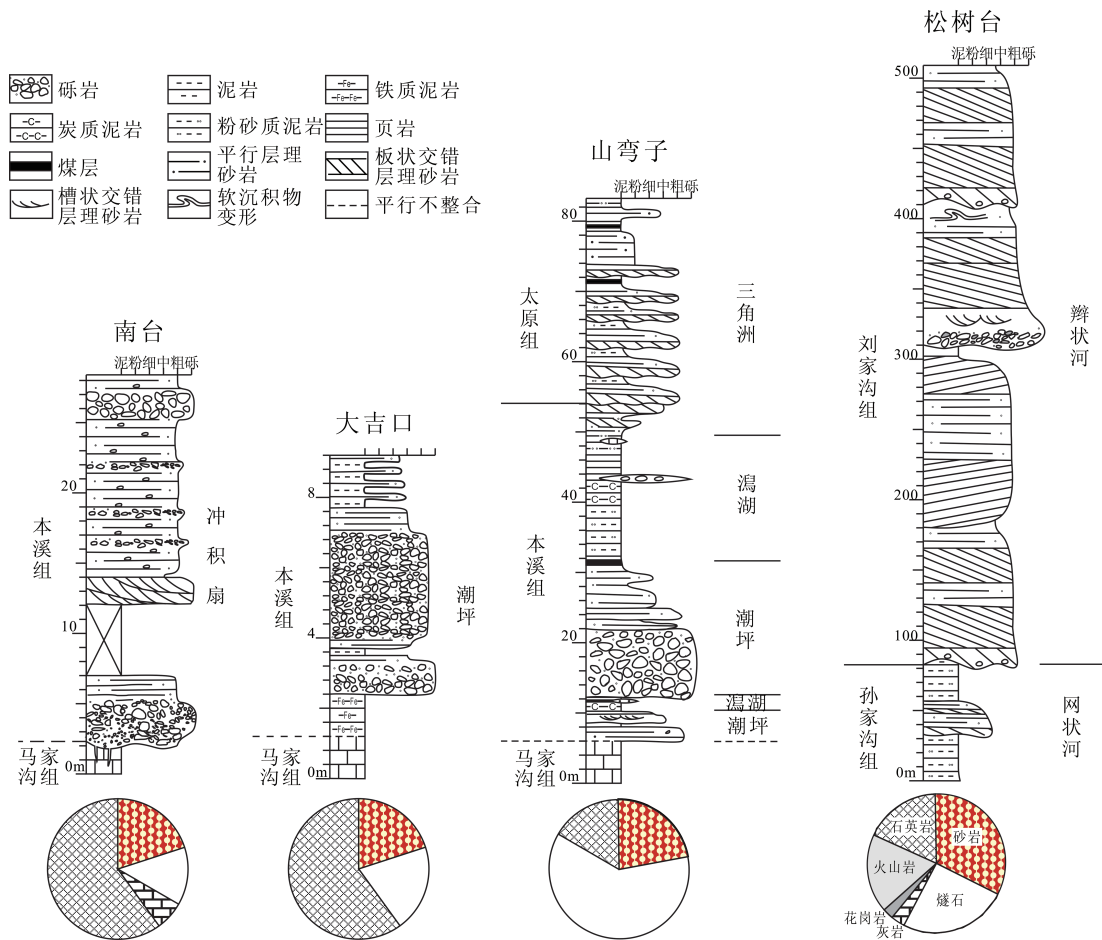


图2 各剖面地层对比  
Fig.2 Stratigraphic correlation

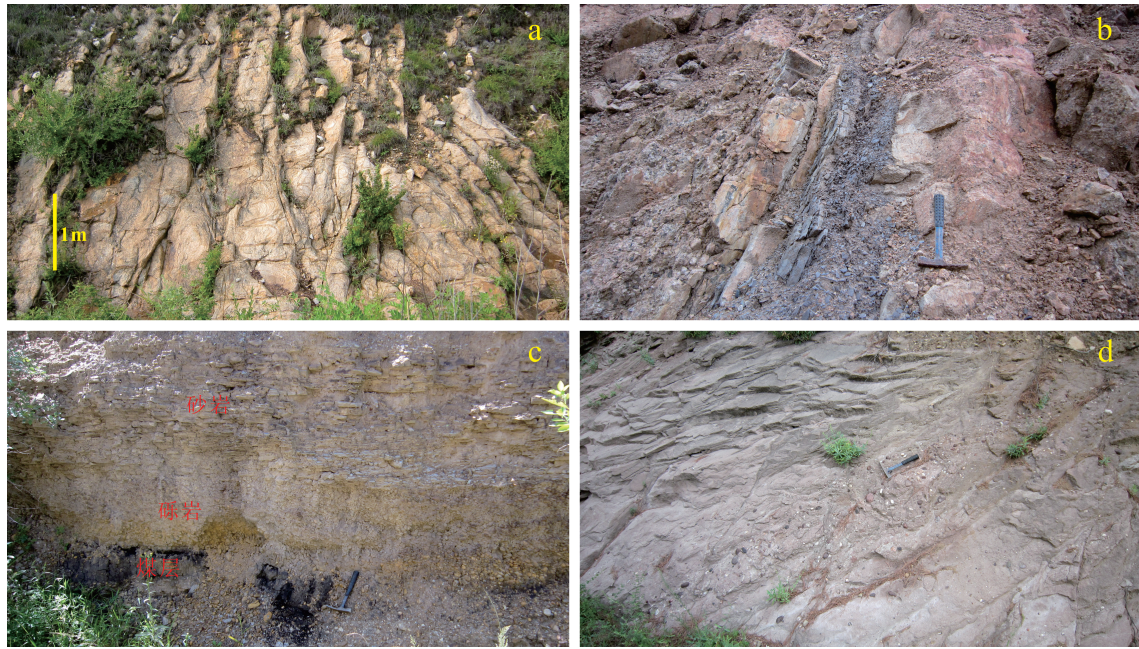


图3 典型岩相照片

a—南台剖面本溪组平行层理砾岩;b—大吉口剖面本溪组砾岩夹灰色泥岩;  
c—山弯子剖面本溪组煤层、砾岩与砂岩;d—松树台剖面刘家沟组砾岩与砂岩

Fig.3 Typical lithofacies photos

a—Stratified conglomerate along Nantai profile; b—Conglomerate intercalated with gray mudstone interlayer along Dajikou profile; c—Coal, conglomerate and sandstone in Benxi Formation along Shanwanzi profile; d—Conglomerate and sandstone in Liujiagou Formation along Songshutai profile

d),形成于辫状河环境。从砾石成分看,前者由石英岩、砂岩、燧石和少量灰岩组成,而后者除以上成分还出现了一些火山岩和侵入岩砾石(图2)。从岩相组合与砾石成分看,南台剖面和大吉口剖面与山弯子本溪组具有相似的地层特征。

### 3 碎屑锆石 U-Pb 同位素测定

#### 3.1 采样与测试条件

为了限定地层的时代,分别对大吉口剖面、山弯子本溪组和松树台刘家沟组进行了碎屑锆石测年。首先将采集的碎屑岩样品粉碎至60目,用磁选和重液方法粗选,在双目镜下将干净的锆石颗粒逐一挑出。接着将挑好的锆石颗粒粘在双面胶上,固定于透明的环氧树脂中,和树脂一起打磨抛光,直至露出锆石的内部以适合LA-ICP-MS分析。将抛光后的锆石分别进行透射光和反射光照相,以观察其抛光面内部结构。然后镀金拍摄CL图像,用来观察锆石内部不同世代结晶区域间的关系。样品的分选是在河北廊坊市区调地质研究所实验测试

中心完成的,制靶与透射光和反射光拍照是在中国科学院地质与地球物理研究所离子探针中心完成的,锆石的CL图像(图4)在中国科学院地质与地球物理研究所扫描电镜实验室使用装有MiniCL的LEO1450VP扫描电镜拍摄。

锆石定年在中国科学院地质与地球物理研究所多接收等离子质谱仪实验室LA-MC-ICPMS仪器上测试完成。每个样品随机测试100个点。测试过程采用激光束斑直径为50 μm,频率为80Hz,锆石91500(年龄1064 Ma)作为标样来标定仪器,以硅酸盐玻璃NIST610为标准计算U、Th、Pb含量。数据使用Glitter(ver.4.0版本)程序处理,年龄加权平均值计算和年龄直方图图谱绘制使用Isoplot 3.7程序,详细的分析参数见文献[11]。对于小于1000 Ma数据采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄,大于1000 Ma的则采用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄。测试数据见表1。

#### 3.2 分析结果

##### (1) BX9(山弯子本溪组)

样品BX9采自山弯子剖面本溪组底部的铁质

砂岩,紧靠奥陶系马家沟组之上的不整合面。100粒测试锆石中,16个不谐和年龄数据不参与年龄谱统计。84个谐和年龄数据可以分成3组(图5-a):36粒前寒武纪锆石(2680~1594 Ma),占42%;42粒泥盆纪锆石(404~361 Ma),占49%;第3组仅有6粒,占9%,来自晚石炭世一早二叠世(307~288 Ma)。6个最年轻的年龄数据平均为(298±8)Ma。

(2)DJK(大吉口剖面)

样品 DJK 采自大吉口剖面砂岩。95 个谐和年龄数据分成 3 个年龄组(图 5-b):79 粒前寒武纪锆石(2121~1528 Ma),占 83%;2 粒泥盆纪锆石(379~354 Ma),占 2%;14 粒石炭纪一早二叠世锆石(328~293 Ma),占 15%。14 个最年轻的年龄数据平均为(310±7)Ma。

(3)LJG(松树台刘家沟组)

样品 LJG 采自松树台剖面刘家沟组中下部的钙质砂岩。96 个谐和年龄数据分成 4 个年龄组(图 5-c):72 粒前寒武纪锆石(2618~1748 Ma),占 75%;8 粒泥盆纪锆石(405~348 Ma),占 8%;12 粒石炭纪一早二叠世锆石(331~295 Ma),占 13%;4 粒中晚二叠世锆石(267~247 Ma),占 4%。4 个最年轻的年龄数据平均为(256±10)Ma。

对比 3 个样品,大吉口剖面与山弯子本溪组具有相似的年龄组成(图 5),最年轻年龄峰(328~288 Ma)的平均年龄 310 Ma 和 298 Ma 在误差范围内一

致,均缺少松树台剖面刘家沟组的中一晚二叠世年龄峰(267~247 Ma)。根据近些年所获得的年龄数据,盆地源区内蒙古隆起在同一时期内发育两期相应的岩浆活动:晚石炭一早二叠世岩浆活动和晚二叠一中三叠世岩浆活动。前者可能与古亚洲洋向华北之下俯冲引起的陆缘弧岩浆活动有关,后者可能与古亚洲洋闭合后的后碰撞岩浆活动有关<sup>[12]</sup>。大吉口剖面与山弯子本溪组均缺少中一晚二叠世的锆石,表明其形成于 310~298 Ma(图 5)之后,中一晚二叠世(267~247 Ma)之前。同时,大吉口剖面和南台剖面与山弯子本溪组具有相似的砾岩成分,由石英岩、燧石和砂岩组成,缺少刘家沟组的火山岩和花岗岩砾石。大吉口和山弯子剖面具有相似的岩石组合,均形成于滨海环境。南台剖面由具平行层理的砂岩和块状砾岩组成,形成于冲积扇环境,其可能代表了盆地本溪组时期的边缘相。

综上所述,与山弯子本溪组相似的碎屑锆石年龄组成和砾石成分表明,大吉口和南台剖面应该属于本溪组,而非刘家沟组。大吉口一带覆盖严重,近些年修路时本溪组下部被揭露,其平行不整合于马家沟组之上,在大吉口以西则局部出露三叠系砂砾岩。由于地层出露局限,目前尚不确定二者是连续发育还是以断层接触(图 1)。岩石地层与年代学结果重新定义了平泉地区的本溪组和刘家沟组。本溪组由砾岩、砂岩以及灰色泥岩组成,砾石成分

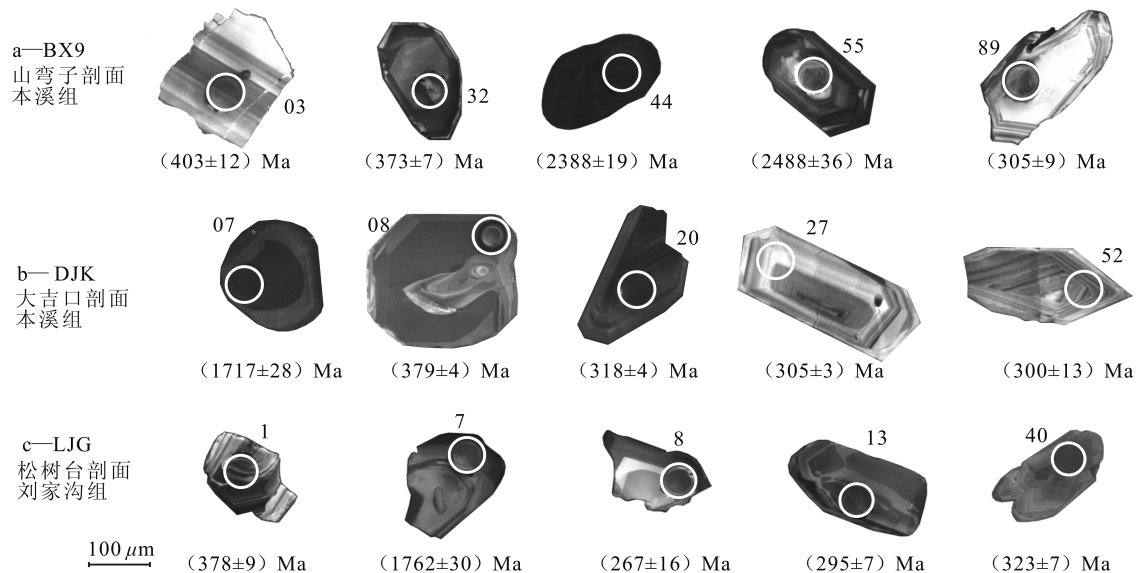


图4 部分锆石的阴极发光图像  
Fig.4 CL images of analyzed detrital zircons

表1 碎屑锆石 U-Pb 同位素数据  
Table 1 U-Pb isotope data of detrital zircons

样品号	Pb / $10^{-6}$	Th / $10^{-6}$	U / $10^{-6}$	同位素比值						年龄/Ma			谱和度 /%	采用年龄 /Ma
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
BX9 (山弯子剖面本溪组)														
01	34	68	575	0.0542	0.0013	0.4462	0.0096	0.0597	0.0011	379±52	375±7	374±7	100	374±7
02	13	161	161	0.0537	0.0018	0.4517	0.0138	0.0610	0.0013	357±73	378±10	382±8	99	382±8
03	7	203	54	0.0544	0.0035	0.4846	0.0294	0.0645	0.0020	389±140	401±20	403±12	100	403±12
04	15	358	133	0.0546	0.0023	0.4755	0.0182	0.0631	0.0015	397±90	395±13	395±9	100	395±9
05	34	442	426	0.0530	0.0014	0.4434	0.0104	0.0607	0.0011	327±57	373±7	380±7	98	380±7
06	6	31	114	0.0518	0.0020	0.3370	0.0120	0.0472	0.0010	275±86	295±9	297±6	99	297±6
07	90	134	143	0.1621	0.0018	10.4071	0.1101	0.4655	0.0078	2477±19	2472±10	2464±34	101	2477±19
08	83	68	149	0.1578	0.0019	9.9481	0.1137	0.4569	0.0079	2433±20	2430±11	2426±35	100	2433±20
09	35	462	428	0.0551	0.0017	0.4600	0.0132	0.0606	0.0012	415±68	384±9	379±8	101	379±8
10	9	166	92	0.0549	0.0027	0.4577	0.0211	0.0605	0.0016	406±107	383±15	379±9	101	379±9
11	30	297	398	0.0546	0.0012	0.4699	0.0095	0.0624	0.0011	395±48	391±7	390±7	100	390±7
12	46	438	614	0.0558	0.0024	0.4980	0.0193	0.0647	0.0016	444±91	410±13	404±10	102	404±10
13	42	51	75	0.1535	0.0042	9.3292	0.2399	0.4406	0.0116	2385±46	2371±24	2353±52	101	2385±46
14	55	52	111	0.1415	0.0031	8.0858	0.1634	0.4143	0.0092	2245±37	2241±18	2235±42	100	2245±37
15	29	386	338	0.0545	0.0018	0.4722	0.0141	0.0628	0.0013	393±71	393±10	393±8	100	393±8
16	67	3099	46	0.0545	0.0031	0.4463	0.0240	0.0594	0.0016	390±124	375±17	372±10	101	372±10
17	60	91	197	0.1062	0.0013	3.8212	0.0428	0.2608	0.0043	1735±22	1597±9	1494±22	116	1735±22
18	13	97	190	0.0547	0.0016	0.4608	0.0126	0.0611	0.0012	398±64	385±9	383±7	101	383±7
19	14	358	125	0.0625	0.0033	0.5232	0.0247	0.0607	0.0017	693±107	427±16	380±11	113	380±11
20	11	34	123	0.0798	0.0025	0.8640	0.0239	0.0785	0.0017	1193±60	632±13	487±10	130	487±10
21	89	3942	11	0.7126	0.0243	23.4015	0.5856	0.2381	0.0088	4756±48	3244±24	1377±46	345	4756±48
22	4	143	19	0.0546	0.0089	0.4858	0.0738	0.0645	0.0043	396±329	402±50	403±26	100	403±26
23	12	30	32	0.1022	0.0029	4.1840	0.1111	0.2967	0.0070	1665±52	1671±22	1675±35	99	1665±52
24	9	148	97	0.0469	0.0024	0.4044	0.0198	0.0625	0.0015	44±120	345±14	391±9	88	391±9
25	8	49	170	0.0514	0.0019	0.3238	0.0112	0.0457	0.0010	258±83	285±9	288±6	99	288±6
26	34	347	466	0.0538	0.0009	0.4539	0.0073	0.0612	0.0010	362±38	380±5	383±6	99	383±6
27	29	407	359	0.0541	0.0013	0.4461	0.0099	0.0598	0.0011	375±53	375±7	374±7	100	374±7
28	125	68	252	0.1488	0.0019	8.8895	0.1069	0.4333	0.0076	2332±22	2327±11	2321±34	100	2332±22
29	7	184	59	0.0466	0.0030	0.3933	0.0242	0.0612	0.0017	29±149	337±18	383±10	88	383±10
30	10	190	101	0.0555	0.0026	0.4594	0.0195	0.0600	0.0015	432±99	384±14	376±9	102	376±9
31	13	669	9	0.1092	0.0138	0.9753	0.1103	0.0648	0.0042	1785±215	691±57	405±25	171	405±25
32	23	227	322	0.0526	0.0014	0.4313	0.0107	0.0595	0.0011	309±60	364±8	373±7	98	373±7
33	24	267	332	0.0531	0.0016	0.4425	0.0125	0.0605	0.0012	332±69	372±9	378±7	98	378±7
34	15	118	220	0.0529	0.0021	0.4338	0.0160	0.0595	0.0014	324±89	366±11	372±8	98	372±8
35	6	125	60	0.0563	0.0033	0.4575	0.0250	0.0589	0.0017	463±127	383±17	369±11	104	369±11
36	17	101	245	0.0560	0.0017	0.4799	0.0136	0.0621	0.0013	452±67	398±9	389±8	102	389±8
37	21	1068	19	0.0889	0.0118	0.5853	0.0707	0.0477	0.0029	1402±234	468±45	301±18	156	301±18
38	23	1225	14	0.0545	0.0094	0.4722	0.0777	0.0628	0.0037	392±347	393±54	393±23	100	393±23
39	14	265	218	0.0538	0.0018	0.3625	0.0114	0.0489	0.0010	363±75	314±8	307±6	102	307±6
40	37	50	61	0.1605	0.0024	10.3730	0.1494	0.4686	0.0089	2461±25	2469±13	2478±39	99	2461±25
41	26	31	64	0.1507	0.0024	6.8016	0.0992	0.3272	0.0062	2354±27	2086±13	1825±30	129	2354±27
42	5	64	91	0.0535	0.0031	0.3409	0.0183	0.0462	0.0014	348±126	298±14	291±8	102	291±8
43	64	114	140	0.1232	0.0020	6.1632	0.0940	0.3628	0.0068	2003±29	1999±13	1996±32	100	2003±29
44	107	140	189	0.1537	0.0017	9.5300	0.1009	0.4495	0.0076	2388±19	2390±10	2393±34	100	2388±19
45	27	549	276	0.0537	0.0014	0.4594	0.0108	0.0621	0.0012	357±56	384±8	388±7	99	388±7
46	31	66	52	0.1482	0.0032	8.8397	0.1795	0.4326	0.0097	2325±37	2322±19	2318±44	100	2325±37
47	32	435	387	0.0553	0.0017	0.4777	0.0135	0.0626	0.0013	425±67	397±9	392±8	101	392±8
48	5	251	4	0.0541	0.0293	0.3815	0.1994	0.0512	0.0076	374±903	328±147	322±47	102	322±47
49	67	86	114	0.1609	0.0020	10.3636	0.1223	0.4671	0.0082	2465±21	2468±11	2471±36	100	2465±21
50	98	4516	91	0.0531	0.0028	0.4529	0.0219	0.0618	0.0017	334±115	379±15	387±10	98	387±10
51	24	276	325	0.0507	0.0014	0.4333	0.0108	0.0620	0.0012	226±61	366±8	388±7	94	388±7
52	1	12	11	0.0488	0.0341	0.1924	0.1328	0.0286	0.0034	138±1129	179±113	182±21	98	182±21
53	10	20	26	0.1029	0.0035	4.2551	0.1321	0.3000	0.0079	1677±61	1685±26	1691±39	99	1677±61
54	52	691	668	0.0526	0.0010	0.4506	0.0078	0.0621	0.0011	312±42	378±5	389±7	97	389±7
55	41	69	71	0.1625	0.0035	9.6127	0.1945	0.4290	0.0098	2482±36	2398±19	2301±44	108	2482±36
56	62	94	103	0.1606	0.0022	10.2757	0.1321	0.4641	0.0084	2462±23	2460±12	2457±37	100	2462±23
57	16	348	130	0.1164	0.0045	1.0365	0.0340	0.0646	0.0018	1901±68	722±17	403±11	179	403±11
58	79	124	209	0.1124	0.0016	5.0036	0.0649	0.3228	0.0057	1838±25	1820±11	1804±28	102	1838±25
59	10	15	30	0.1054	0.0046	4.2768	0.1722	0.2942	0.0096	1722±79	1689±33	1663±48	104	1722±79
60	7	89	93	0.0557	0.0037	0.4652	0.0286	0.0606	0.0019	439±142	388±20	379±12	102	379±12

续表1

样品号	Pb /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	同位素比值						年龄/Ma			谐和度 /%	采用年龄 /Ma			
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		1 $\sigma$		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		1 $\sigma$		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U			1 $\sigma$		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 $\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 $\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 $\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U					
61	97	120	246	0.1175	0.0016	5.5417	0.0695	0.3421	0.0060	1918±24	1907±11	1897±29	101	1918±24			
62	22	236	298	0.0545	0.0015	0.4636	0.0117	0.0617	0.0012	391±60	387±8	386±7	100	386±7			
63	39	74	101	0.1111	0.0019	4.8858	0.0758	0.3190	0.0060	1817±30	1800±13	1785±29	102	1817±30			
64	72	236	88	0.1581	0.0022	10.0866	0.1321	0.4627	0.0085	2435±23	2443±12	2452±37	99	2435±23			
65	108	142	333	0.1561	0.0022	5.9955	0.0772	0.2786	0.0050	2414±24	1975±11	1584±25	152	2414±24			
66	326	61	692	0.1558	0.0015	9.4373	0.0870	0.4392	0.0072	2411±16	2382±8	2347±32	103	2411±16			
67	5	20	12	0.1240	0.0064	4.0570	0.1898	0.2373	0.0085	2014±89	1646±38	1373±44	147	2014±89			
68	104	129	194	0.1577	0.0019	9.5640	0.1071	0.4397	0.0076	2431±20	2394±10	2349±34	103	2431±20			
69	26	306	358	0.0534	0.0016	0.4435	0.0123	0.0602	0.0012	347±67	373±9	377±7	99	377±7			
70	24	26	61	0.1158	0.0028	5.5029	0.1223	0.3445	0.0077	1893±43	1901±19	1908±37	99	1893±43			
71	104	82	290	0.1112	0.0013	5.0569	0.0568	0.3299	0.0056	1818±21	1829±10	1838±27	99	1818±21			
72	10	207	70	0.2682	0.0108	1.9840	0.0587	0.0536	0.0018	3296±62	1110±20	337±11	330	3296±62			
73	19	158	268	0.0500	0.0018	0.4404	0.0148	0.0639	0.0014	194±82	371±10	399±8	93	399±8			
74	42	1471	278	0.0547	0.0016	0.4542	0.0124	0.0603	0.0012	398±64	380±9	377±7	101	377±7			
75	11	372	81	0.0544	0.0028	0.4541	0.0215	0.0605	0.0016	388±110	380±15	379±10	100	379±10			
76	88	161	208	0.1192	0.0016	5.7519	0.0711	0.3500	0.0061	1944±23	1939±11	1935±29	100	1944±23			
77	64	1096	795	0.0570	0.0012	0.4676	0.0089	0.0595	0.0011	490±45	390±6	373±7	105	373±7			
78	41	45	91	0.1330	0.0021	7.2005	0.1080	0.3925	0.0074	2138±28	2137±13	2134±34	100	2138±28			
79	124	389	279	0.1103	0.0013	4.9199	0.0562	0.3234	0.0055	1805±22	1806±10	1806±27	100	1805±22			
80	22	46	47	0.1278	0.0034	6.5540	0.1626	0.3718	0.0091	2068±46	2053±22	2038±43	101	2068±46			
81	88	160	229	0.1113	0.0014	4.9869	0.0594	0.3250	0.0056	1820±23	1817±10	1814±27	100	1820±23			
82	19	29	33	0.1630	0.0043	10.3870	0.2555	0.4622	0.0120	2487±43	2470±23	2449±53	102	2487±43			
83	42	36	68	0.1830	0.0028	12.9843	0.1924	0.5145	0.0101	2680±25	2679±14	2676±43	100	2680±25			
84	23	14	371	0.0578	0.0018	0.5034	0.0142	0.0631	0.0013	524±66	414±10	395±8	105	395±8			
85	6	120	66	0.0504	0.0035	0.4004	0.0262	0.0576	0.0018	213±154	342±19	361±11	95	361±11			
86	79	79	141	0.1635	0.0020	10.5740	0.1247	0.4690	0.0083	2492±21	2486±11	2479±36	101	2492±21			
87	19	213	262	0.0529	0.0017	0.4526	0.0134	0.0620	0.0013	325±71	379±9	388±8	98	388±8			
88	25	39	48	0.1428	0.0029	8.3432	0.1605	0.4238	0.0092	2261±35	2269±17	2278±41	99	2261±35			
89	5	34	95	0.0525	0.0032	0.3503	0.0199	0.0484	0.0014	306±133	305±15	305±9	100	305±9			
90	68	81	181	0.1122	0.0015	5.0898	0.0626	0.3290	0.0057	1835±23	1834±10	1833±28	100	1835±23			
91	21	786	105	0.0561	0.0034	0.4624	0.0257	0.0597	0.0019	456±130	386±18	374±12	103	374±12			
92	6	50	94	0.1229	0.0066	0.8175	0.0366	0.0482	0.0018	1999±92	607±20	304±11	200	304±11			
93	42	539	557	0.0539	0.0011	0.4521	0.0087	0.0608	0.0012	367±46	379±6	381±8	100	381±8			
94	7	50	128	0.0519	0.0026	0.3399	0.0155	0.0475	0.0013	282±109	297±12	299±8	99	299±8			
95	20	218	268	0.0544	0.0015	0.4472	0.0110	0.0596	0.0013	388±59	375±8	373±8	101	373±8			
96	18	199	247	0.0544	0.0016	0.4579	0.0128	0.0610	0.0014	386±66	383±9	382±8	100	382±8			
97	26	350	327	0.0534	0.0013	0.4536	0.0105	0.0616	0.0013	346±56	380±7	385±8	99	385±8			
98	93	70	293	0.1064	0.0019	4.3258	0.0726	0.2946	0.0063	1739±33	1698±14	1664±31	105	1739±33			
99	6	9	20	0.0984	0.0057	3.7622	0.2015	0.2772	0.0113	1594±105	1585±43	1577±57	101	1594±105			
100	107	131	197	0.1513	0.0019	9.2524	0.1092	0.4434	0.0088	2360±21	2363±11	2366±39	100	2360±21			
DJK (大吉口剖面本溪组)																	
01	14	14	39	0.1056	0.0016	4.5047	0.0685	0.3071	0.0028	1732±13	1727±14	1726±28	99	1726±28			
02	188	153	591	0.1067	0.0016	4.8934	0.0833	0.3297	0.0035	1801±14	1837±17	1744±28	98	1744±28			
03	23	52	61	0.0996	0.0019	4.2048	0.0833	0.3052	0.0035	1675±16	1717±17	1617±31	97	1617±31			
04	72	101	201	0.1055	0.0015	4.7835	0.0686	0.3265	0.0030	1782±12	1822±15	1724±26	97	1724±26			
05	74	94	136	0.1511	0.0024	9.8586	0.1587	0.4705	0.0043	2422±15	2486±19	2359±28	97	2359±28			
06	209	118	620	0.1023	0.0015	4.5901	0.0676	0.3235	0.0025	1747±12	1807±12	1666±27	96	1666±27			
07	26	73	66	0.1050	0.0015	4.9104	0.0801	0.3361	0.0029	1804±14	1868±14	1717±28	96	1717±28			
08	9	66	148	0.0517	0.0015	0.4305	0.0127	0.0606	0.0006	364±9	379±4	272±64	95	379±4			
09	207	237	611	0.1009	0.0020	4.4033	0.0877	0.3147	0.0028	1713±16	1764±14	1643±37	97	1643±37			
10	35	52	96	0.1016	0.0022	4.4104	0.0940	0.3143	0.0037	1714±18	1762±18	1654±40	97	1654±40			
11	130	179	371	0.0992	0.0021	4.3126	0.0947	0.3139	0.0032	1696±18	1760±16	1609±40	96	1609±40			
12	26	31	78	0.0984	0.0022	4.1521	0.0925	0.3048	0.0031	1665±18	1715±15	1595±41	97	1595±41			
13	60	103	151	0.1003	0.0021	4.4082	0.0945	0.3173	0.0023	1714±18	1777±11	1629±44	96	1629±44			
14	53	103	144	0.1065	0.0032	4.5459	0.1463	0.3080	0.0039	1739±27	1731±19	1740±55	99	1740±55			
15	125	129	353	0.0987	0.0026	4.2633	0.1101	0.3123	0.0026	1686±21	1752±13	2000±49	96	2000±49			
16	104	130	281	0.0976	0.0028	4.0623	0.1180	0.3011	0.0025	1647±24	1697±12	1589±54	96	1589±54			
17	202	67	662	0.0950	0.0031	3.8330	0.1273	0.2921	0.0034	1600±27	1652±17	1528±62	96	1528±62			
18	128	167	353	0.0978	0.0026	4.3769	0.1184	0.3233	0.0030	1708±22	1806±15	1583±50	94	1583±50			
19	64	145	161	0.1028	0.0025	4.5445	0.1134	0.3193	0.0032	1739±21	1786±16	1676±44	97	1676±44			
20	9	103	172	0.0551	0.0020	0.3806	0.0135	0.0506	0.0006	327±10	318±4	417±77	97	318±4			

续表1

样品号	Pb /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	同位素比值						年龄/Ma			谐和度 /%	采用年龄 /Ma
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		
21	202	67	662	0.1023	0.0019	4.5589	0.0886	0.3217	0.0031	1742±16	1798±15	1666±34	96	1666±34
22	128	167	353	0.1023	0.0017	4.5068	0.0769	0.3176	0.0027	1732±14	1778±13	1678±31	97	1678±31
23	64	145	161	0.1048	0.0017	4.8212	0.0835	0.3319	0.0035	1789±15	1848±17	1722±31	96	1722±31
24	17	35	43	0.1050	0.0016	4.7770	0.0766	0.3288	0.0032	1781±13	1833±16	1714±29	97	1714±29
25	42	66	74	0.1542	0.0018	10.2691	0.1816	0.4774	0.0062	2459±16	2516±27	2394±20	97	2394±20
26	4	25	85	0.0510	0.0012	0.3682	0.0082	0.0523	0.0005	318±6	328±3	243±54	96	328±3
27	11	213	187	0.0516	0.0009	0.3457	0.0058	0.0484	0.0004	302±4	305±3	333±39	98	305±3
28	79	112	225	0.1092	0.0013	4.7196	0.0571	0.3117	0.0025	1771±10	1749±12	1787±22	98	1787±22
29	8	61	115	0.0543	0.0017	0.3222	0.0090	0.0434	0.0005	284±7	274±3	383±66	89	383±66
30	11	172	194	0.0523	0.0015	0.3437	0.0098	0.0481	0.0007	300±7	303±4	298±67	99	303±4
31	98	98	270	0.1089	0.0022	4.7831	0.0937	0.3195	0.0038	1782±16	1787±19	1781±37	99	1781±37
32	66	96	191	0.1124	0.0012	5.4394	0.0589	0.3489	0.0028	1891±9	1930±13	1839±19	97	1839±19
33	16	11	47	0.1099	0.0014	5.1677	0.0684	0.3392	0.0031	1847±11	1883±15	1798±22	98	1798±22
34	189	326	514	0.1048	0.0019	4.5676	0.0833	0.3158	0.0035	1743±15	1769±17	1722±34	98	1722±34
35	151	159	452	0.1095	0.0011	5.1242	0.0542	0.3372	0.0027	1840±9	1873±13	1792±17	98	1792±17
36	7	136	104	0.0574	0.0015	0.3681	0.0094	0.0465	0.0005	318±7	293±3	509±55	91	293±3
37	122	111	333	0.1117	0.0011	5.1220	0.0540	0.3308	0.0029	1840±9	1842±14	1828±23	99	1828±23
38	11	172	194	0.0576	0.0016	0.3867	0.0101	0.0491	0.0005	332±7	309±3	522±63	92	309±3
39	232	289	684	0.1110	0.0012	5.1237	0.0659	0.3328	0.0034	1840±11	1852±16	1817±20	99	1817±20
40	150	398	377	0.1179	0.0017	4.7143	0.0713	0.2880	0.0030	1770±13	1631±15	1925±26	91	1925±26
41	57	49	168	0.1199	0.0014	5.4051	0.0748	0.3257	0.0042	1886±12	1817±20	1955±16	96	1955±16
42	41	53	115	0.1111	0.0013	5.0697	0.0614	0.3290	0.0026	1831±10	1834±13	1818±21	99	1818±21
43	85	324	178	0.1111	0.0014	5.3292	0.0676	0.3462	0.0029	1874±11	1917±14	1818±24	97	1818±24
44	521	108	1705	0.1102	0.0016	5.1665	0.0751	0.3381	0.0029	1847±12	1878±14	1802±26	98	1802±26
45	28	43	76	0.1317	0.0020	7.4552	0.1136	0.4081	0.0032	2168±14	2206±14	2121±28	98	2121±28
46	78	100	203	0.1086	0.0018	4.9533	0.0776	0.3289	0.0024	1811±13	1833±11	1776±30	98	1776±30
47	70	277	154	0.1173	0.0021	5.8826	0.1052	0.3613	0.0030	1959±16	1988±14	1917±32	98	1917±32
48	147	184	409	0.1065	0.0022	4.9529	0.0999	0.3354	0.0029	1811±17	1865±14	1743±43	97	1743±43
49	34	85	85	0.1049	0.0100	4.7689	0.4194	0.3277	0.0072	1779±74	1827±35	1722±176	97	1722±176
50	53	214	115	0.1050	0.0138	4.7357	0.5747	0.3252	0.0093	1774±102	1815±45	1715±244	97	1715±244
51	38	110	92	0.0993	0.0168	4.1186	0.6426	0.2992	0.0111	1658±128	1687±55	1613±320	98	1613±320
52	7	127	108	0.0503	0.0104	0.3294	0.0631	0.0477	0.0021	289±48	300±13	209±422	96	300±13
53	20	63	396	0.0497	0.0121	0.3409	0.0764	0.0504	0.0027	298±58	317±16	189±476	93	317±16
54	329	56	1073	0.1052	0.0294	4.8414	1.2462	0.3318	0.0199	1792±220	1847±96	1718±529	96	1718±529
55	226	276	617	0.1067	0.0338	4.9086	1.4312	0.3313	0.0224	1804±251	1845±109	1743±611	97	1743±611
56	235	313	701	0.1105	0.0064	5.3156	0.2990	0.3470	0.0111	1871±48	1920±53	1807±106	97	1807±106
57	92	41	292	0.1138	0.0012	5.0744	0.0590	0.3215	0.0027	1832±10	1797±13	1862±19	98	1862±19
58	39	45	115	0.1089	0.0012	5.1291	0.0605	0.3398	0.0029	1841±10	1886±14	1781±25	97	1781±25
59	103	52	322	0.1112	0.0012	5.3409	0.0579	0.3469	0.0026	1875±9	1920±12	1820±20	97	1820±20
60	144	110	463	0.1107	0.0013	5.1280	0.0651	0.3347	0.0029	1841±11	1861±14	1811±21	98	1811±21
61	13	7	25	0.1780	0.0021	11.8208	0.2129	0.4760	0.0055	2590±17	2510±24	2635±19	96	2635±19
62	165	64	513	0.1135	0.0014	5.4216	0.0740	0.3450	0.0026	1888±12	1911±13	1855±22	98	1855±22
63	36	33	105	0.1103	0.0018	5.0061	0.0897	0.3284	0.0031	1820±15	1831±15	1806±31	99	1806±31
64	169	166	490	0.1069	0.0015	4.7056	0.0722	0.3182	0.0027	1768±13	1781±13	1748±26	99	1748±26
65	23	33	389	0.0510	0.0011	0.3436	0.0072	0.0489	0.0004	300±5	308±3	243±48	97	308±3
66	38	46	112	0.1093	0.0015	4.9255	0.0711	0.3258	0.0022	1807±12	1818±11	1787±25	99	1787±25
67	149	218	406	0.1146	0.0021	5.1315	0.0943	0.3244	0.0028	1841±16	1811±13	1874±33	98	1874±33
68	123	206	386	0.1037	0.0024	4.4357	0.1005	0.3115	0.0035	1719±19	1748±17	1692±75	98	1692±75
69	17	115	330	0.0516	0.0011	0.3492	0.0072	0.0492	0.0004	304±5	310±3	333±48	98	310±3
70	66	137	154	0.1100	0.0011	5.1755	0.0600	0.3401	0.0027	1849±10	1887±13	1798±19	97	1798±19
71	184	234	482	0.1072	0.0014	4.9631	0.0674	0.3346	0.0027	1813±11	1861±13	1754±23	97	1754±23
72	107	115	280	0.1194	0.0015	5.9399	0.1179	0.3556	0.0039	1967±17	1961±19	1947±23	99	1947±23
73	124	145	324	0.1122	0.0011	5.2714	0.0537	0.3395	0.0025	1864±9	1884±12	1835±19	98	1835±19
74	301	268	818	0.1107	0.0012	5.1620	0.0566	0.3371	0.0026	1846±9	1872±13	1811±20	98	1811±20
75	16	309	259	0.0519	0.0008	0.3589	0.0049	0.0502	0.0004	311±4	316±2	280±33	98	316±2
76	346	247	1067	0.1085	0.0010	4.7509	0.0472	0.3160	0.0021	1776±8	1770±10	1776±12	99	1776±12
77	93	67	269	0.1032	0.0020	4.3986	0.0828	0.3093	0.0034	1712±16	1737±17	1683±35	98	1683±35
78	57	72	95	0.1513	0.0017	7.6784	0.1249	0.3657	0.0048	2194±15	2009±23	2361±19	91	2361±19
79	19	20	95	0.0563	0.0020	0.3652	0.0134	0.0471	0.0007	316±10	297±4	465±80	93	297±4
80	25	36	64	0.1090	0.0011	5.0806	0.0548	0.3362	0.0024	1833±9	1868±12	1783±23	98	1783±23



续表1

样品号	Pb /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	同位素比值						年龄/Ma			谐和度 /%	采用年龄 /Ma
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		
81	93	264	206	0.1118	0.0012	5.4341	0.0624	0.3504	0.0029	1890±10	1936±14	1829±19	97	1829±19
82	4	53	65	0.0555	0.0015	0.4365	0.0141	0.0565	0.0008	368±10	354±5	435±61	96	354±5
83	122	91	333	0.1152	0.0014	5.5810	0.0688	0.3499	0.0030	1913±11	1934±14	1883±21	98	1883±21
84	24	109	518	0.0569	0.0022	0.3567	0.0137	0.0465	0.0007	310±10	293±4	487±85	94	293±4
85	80	84	228	0.1108	0.0011	4.2346	0.0720	0.2750	0.0041	1681±14	1566±21	1813±18	92	1813±18
86	122	114	335	0.1120	0.0012	5.2098	0.0582	0.3354	0.0026	1854±10	1865±12	1832±19	99	1832±19
87	122	63	353	0.1133	0.0014	5.3133	0.0680	0.3391	0.0032	1871±11	1882±16	1854±22	99	1854±22
88	16	396	233	0.0526	0.0009	0.3776	0.0064	0.0520	0.0005	325±5	327±3	309±8	99	327±3
89	179	50	509	0.1130	0.0014	5.1544	0.0631	0.3292	0.0027	1845±10	1835±13	1850±23	99	1850±23
90	139	40	397	0.1143	0.0012	5.0862	0.0578	0.3210	0.0028	1834±10	1795±14	1869±19	97	1869±19
91	74	89	204	0.1138	0.0013	4.9593	0.0550	0.3144	0.0025	1812±9	1763±12	1861±20	97	1861±20
92	160	113	467	0.1124	0.0014	5.2455	0.0759	0.3365	0.0035	1860±12	1870±17	1839±22	99	1839±22
93	114	62	323	0.1151	0.0010	5.3185	0.0563	0.3328	0.0029	1872±9	1852±14	1883±17	98	1883±17
94	159	40	444	0.1141	0.0012	5.3328	0.0568	0.3368	0.0028	1874±9	1871±14	1866±18	99	1866±18
95	109	71	296	0.1144	0.0016	5.7633	0.0717	0.3631	0.0029	1941±11	1997±14	1872±21	97	1872±21
96	289	348	769	0.1121	0.0013	5.1115	0.0584	0.3286	0.0028	1838±10	1831±13	1835±21	99	1835±21
LJG (松树台剖面刘家沟组)														
01	13	191	181	0.0541	0.0022	0.4506	0.0168	0.0603	0.0014	376±87	378±12	378±9	100	378±9
02	34	58	88	0.1160	0.0031	5.3539	0.1343	0.3346	0.0083	1895±48	1878±21	1861±40	101	1895±48
03	28	50	73	0.1106	0.0025	4.9953	0.1068	0.3273	0.0074	1810±41	1819±18	1825±36	100	1810±41
04	129	80	379	0.1136	0.0016	5.2033	0.0692	0.3319	0.0063	1858±25	1853±11	1848±31	100	1858±25
05	104	159	250	0.1359	0.0042	6.9724	0.1970	0.3719	0.0104	2175±52	2108±25	2038±49	103	2175±52
06	50	88	128	0.1156	0.0025	5.2960	0.1050	0.3320	0.0073	1890±38	1868±17	1848±35	101	1890±38
07	61	123	166	0.1078	0.0018	4.6885	0.0733	0.3154	0.0063	1762±30	1765±13	1767±31	100	1762±30
08	4	98	82	0.0532	0.0079	0.3108	0.0433	0.0424	0.0025	337±307	275±34	267±16	103	267±16
09	105	39	320	0.1136	0.0017	5.1153	0.0721	0.3263	0.0063	1858±27	1839±12	1821±31	101	1858±27
10	83	35	298	0.1162	0.0022	4.4382	0.0775	0.2769	0.0058	1898±34	1720±14	1576±29	110	1898±34
11	25	22	78	0.1069	0.0026	4.6098	0.1037	0.3125	0.0072	1748±44	1751±19	1753±35	100	1748±44
12	10	72	195	0.0514	0.0025	0.3471	0.0159	0.0489	0.0013	260±109	303±12	308±8	98	308±8
13	13	62	285	0.0526	0.0021	0.3399	0.0127	0.0469	0.0011	310±90	297±10	295±7	101	295±7
14	83	87	234	0.1126	0.0016	5.1264	0.0696	0.3301	0.0063	1841±26	1841±12	1839±31	100	1841±26
15	131	57	397	0.1138	0.0015	5.1060	0.0637	0.3253	0.0061	1861±23	1837±11	1816±30	101	1861±23
16	5	33	71	0.0539	0.0055	0.4668	0.0441	0.0628	0.0028	367±214	389±31	392±17	99	392±17
17	10	134	176	0.0513	0.0031	0.3445	0.0191	0.0487	0.0014	254±131	301±14	306±9	98	306±9
18	78	110	215	0.1119	0.0020	5.0605	0.0836	0.3280	0.0067	1830±31	1830±14	1829±32	100	1830±31
19	156	49	540	0.1118	0.0015	4.4563	0.0562	0.2890	0.0054	1829±24	1723±10	1636±27	106	1829±24
20	109	54	351	0.1098	0.0019	4.6478	0.0771	0.3068	0.0062	1796±32	1758±14	1725±31	102	1796±32
21	139	464	185	0.1586	0.0021	10.0820	0.1268	0.4607	0.0088	2441±22	2442±12	2443±39	100	2441±22
22	100	57	293	0.1132	0.0015	5.1828	0.0672	0.3321	0.0063	1851±24	1850±11	1848±30	100	1851±24
23	132	208	201	0.1699	0.0031	11.9594	0.2090	0.5104	0.0113	2556±30	2601±16	2658±48	98	2556±30
24	314	261	913	0.1121	0.0012	5.0662	0.0516	0.3277	0.0059	1834±19	1831±9	1827±28	100	1834±19
25	16	48	39	0.1104	0.0035	4.9197	0.1424	0.3232	0.0086	1805±56	1806±24	1805±42	100	1805±56
26	123	130	207	0.1688	0.0020	11.2453	0.1300	0.4830	0.0090	2546±20	2544±11	2540±39	100	2546±20
27	263	501	751	0.1115	0.0013	4.6613	0.0512	0.3031	0.0055	1824±20	1760±9	1707±27	104	1824±20
28	68	27	139	0.1617	0.0029	10.2192	0.1731	0.4582	0.0099	2473±30	2455±16	2432±44	101	2473±30
29	52	112	132	0.1161	0.0025	5.2688	0.1074	0.3291	0.0073	1897±39	1864±17	1834±36	102	1897±39
30	41	807	449	0.0547	0.0018	0.4827	0.0143	0.0639	0.0014	401±69	400±10	400±8	100	400±8
31	7	124	99	0.0525	0.0041	0.3766	0.0279	0.0520	0.0017	308±168	325±21	327±10	99	327±10
32	97	84	272	0.1148	0.0018	5.3819	0.0795	0.3399	0.0067	1877±28	1882±13	1886±32	100	1877±28
33	236	462	610	0.1136	0.0014	5.1927	0.0626	0.3314	0.0061	1858±22	1851±10	1845±30	100	1858±22
34	112	70	299	0.1240	0.0021	6.0589	0.0972	0.3542	0.0072	2015±30	1984±14	1955±34	102	2015±30
35	245	126	741	0.1154	0.0017	5.1436	0.0729	0.3231	0.0063	1886±27	1843±12	1805±30	102	1886±27
36	25	18	44	0.1651	0.0044	11.1516	0.2809	0.4899	0.0133	2508±44	2536±23	2570±58	99	2508±44
37	36	84	79	0.1379	0.0029	7.4296	0.1466	0.3907	0.0088	2201±36	2165±18	2126±41	102	2201±36
38	185	77	525	0.1134	0.0013	5.4443	0.0609	0.3482	0.0063	1854±21	1892±10	1926±30	98	1854±21
39	10	309	118	0.0531	0.0055	0.3863	0.0366	0.0528	0.0025	333±218	332±27	331±15	100	331±15
40	33	581	519	0.0525	0.0018	0.3721	0.0118	0.0514	0.0012	309±76	321±9	323±7	99	323±7

续表1

样品号	Pb /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	同位素比值				年龄/Ma			谐和度 /%	采用年龄 /Ma		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb			<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U
41	4	8	63	0.0595	0.0083	0.4686	0.0596	0.0571	0.0036	586±276	390±41	358±22	109	358±22
42	11	22	17	0.1630	0.0053	10.6354	0.3280	0.4732	0.0146	2487±54	2492±29	2498±64	100	2487±54
43	13	162	196	0.0541	0.0040	0.4395	0.0301	0.0589	0.0021	376±158	370±21	369±13	100	369±13
44	16	170	250	0.0552	0.0023	0.4479	0.0169	0.0588	0.0015	421±89	376±12	369±9	102	369±9
45	98	234	283	0.1131	0.0016	4.5321	0.0591	0.2907	0.0055	1849±25	1737±11	1645±27	106	1849±25
46	4	93	72	0.0523	0.0043	0.2955	0.0225	0.0410	0.0015	297±176	263±18	259±9	102	259±9
47	17	310	257	0.0512	0.0020	0.3662	0.0134	0.0519	0.0012	250±88	317±10	326±7	97	326±7
48	159	479	367	0.1124	0.0014	5.1672	0.0609	0.3334	0.0061	1839±22	1847±10	1855±30	100	1839±22
49	355	96	717	0.1646	0.0017	10.7694	0.1113	0.4745	0.0086	2503±17	2503±10	2503±38	100	2503±17
50	82	56	292	0.1121	0.0017	4.2209	0.0589	0.2730	0.0052	1834±27	1678±11	1556±27	109	1834±27
51	71	108	118	0.1677	0.0028	11.1425	0.1758	0.4819	0.0101	2535±27	2535±15	2535±44	100	2535±27
52	123	186	337	0.1127	0.0019	5.0549	0.0783	0.3254	0.0065	1843±29	1829±13	1816±31	101	1843±29
53	155	78	485	0.1130	0.0016	4.8866	0.0645	0.3137	0.0059	1848±25	1800±11	1759±29	103	1848±25
54	83	50	247	0.1143	0.0015	5.0932	0.0648	0.3231	0.0061	1870±24	1835±11	1805±30	102	1870±24
55	124	52	395	0.1097	0.0022	4.7773	0.0883	0.3160	0.0067	1794±36	1781±16	1770±33	101	1794±36
56	7	136	113	0.0527	0.0045	0.3713	0.0294	0.0511	0.0019	315±182	321±22	321±12	100	321±12
57	27	68	67	0.1120	0.0026	5.1063	0.1118	0.3306	0.0075	1833±42	1837±19	1841±37	100	1833±42
58	205	64	614	0.1148	0.0014	5.2600	0.0614	0.3323	0.0061	1877±22	1862±10	1849±30	101	1877±22
59	25	247	460	0.0534	0.0020	0.3704	0.0126	0.0504	0.0012	344±81	320±9	317±7	101	317±7
60	140	50	362	0.1280	0.0016	6.6547	0.0814	0.3770	0.0071	2071±22	2067±11	2062±33	100	2071±22
61	13	223	201	0.0559	0.0041	0.3916	0.0262	0.0508	0.0018	448±154	336±19	320±11	105	320±11
62	22	75	48	0.1146	0.0038	5.2494	0.1604	0.3323	0.0093	1874±59	1861±26	1849±45	101	1874±59
63	149	178	424	0.1121	0.0015	4.9992	0.0627	0.3236	0.0060	1833±23	1819±11	1807±29	101	1833±23
64	73	121	203	0.1102	0.0017	4.8384	0.0714	0.3185	0.0062	1803±28	1792±12	1782±30	101	1803±28
65	26	249	472	0.0596	0.0018	0.4133	0.0112	0.0503	0.0011	591±63	351±8	316±7	111	316±7
66	101	51	287	0.1154	0.0016	5.4413	0.0714	0.3421	0.0065	1886±24	1891±11	1897±31	100	1886±24
67	55	83	97	0.1675	0.0031	10.7058	0.1882	0.4637	0.0102	2533±31	2498±16	2456±45	101	2533±31
68	129	101	469	0.1092	0.0017	3.9938	0.0582	0.2653	0.0051	1786±28	1633±12	1517±26	109	1786±28
69	97	30	175	0.1763	0.0028	12.4758	0.1939	0.5134	0.0108	2618±26	2641±15	2671±46	99	2618±26
70	58	90	159	0.1116	0.0026	5.0645	0.1092	0.3292	0.0075	1826±41	1830±18	1835±36	100	1826±41
71	80	39	236	0.1128	0.0015	5.1779	0.0661	0.3331	0.0062	1844±24	1849±11	1854±30	100	1844±24
72	72	69	129	0.1679	0.0028	11.1682	0.1810	0.4827	0.0102	2536±28	2537±15	2539±44	100	2536±28
73	9	153	147	0.0560	0.0028	0.4001	0.0185	0.0518	0.0014	453±108	342±13	326±9	105	326±9
74	81	100	257	0.1095	0.0018	4.4112	0.0692	0.2923	0.0058	1791±30	1714±13	1653±29	104	1791±30
75	110	94	313	0.1135	0.0022	5.1527	0.0932	0.3295	0.0069	1856±35	1845±15	1836±34	101	1856±35
76	125	90	371	0.1123	0.0018	4.9933	0.0739	0.3225	0.0063	1838±28	1818±13	1802±31	101	1838±28
77	6	174	108	0.0507	0.0039	0.2734	0.0198	0.0391	0.0013	229±170	245±16	247±8	99	247±8
78	67	197	152	0.1122	0.0020	5.1063	0.0844	0.3302	0.0067	1836±31	1837±14	1839±32	100	1836±31
79	92	184	235	0.1139	0.0016	5.2239	0.0716	0.3328	0.0064	1862±26	1857±12	1852±31	100	1862±26
80	1	2	18	0.0545	0.0205	0.4165	0.1522	0.0554	0.0055	392±677	354±109	348±34	102	348±34
81	2	82	41	0.0533	0.0083	0.3075	0.0457	0.0419	0.0022	341±320	272±36	265±14	103	265±14
82	135	89	499	0.1114	0.0013	4.0457	0.0460	0.2636	0.0048	1822±21	1643±9	1508±24	111	1822±21
83	113	48	337	0.1152	0.0014	5.2186	0.0623	0.3287	0.0061	1883±22	1856±10	1832±29	101	1883±22
84	104	39	391	0.1118	0.0018	4.0830	0.0600	0.2650	0.0052	1829±28	1651±12	1516±26	111	1829±28
85	28	82	38	0.1652	0.0039	10.8095	0.2403	0.4747	0.0118	2510±39	2507±21	2504±52	100	2510±39
86	190	236	536	0.1119	0.0014	4.9603	0.0593	0.3218	0.0059	1830±22	1813±10	1798±29	101	1830±22
87	19	25	35	0.1641	0.0037	10.5036	0.2212	0.4644	0.0112	2499±37	2480±20	2459±49	101	2499±37
88	9	97	123	0.0563	0.0037	0.5026	0.0304	0.0648	0.0022	463±140	413±21	405±13	102	405±13
89	153	145	421	0.1155	0.0015	5.3688	0.0648	0.3373	0.0062	1888±22	1880±10	1874±30	100	1888±22
90	15	353	203	0.0714	0.0038	0.5024	0.0242	0.0511	0.0016	969±106	413±16	321±10	129	321±10
91	95	38	358	0.1109	0.0016	4.0035	0.0544	0.2621	0.0050	1814±26	1635±11	1500±25	111	1814±26
92	113	57	323	0.1149	0.0015	5.3551	0.0663	0.3383	0.0063	1878±23	1878±11	1879±30	100	1878±23
93	39	34	70	0.1666	0.0030	11.0076	0.1871	0.4795	0.0104	2524±30	2524±16	2525±45	100	2524±30
94	58	115	93	0.1639	0.0026	10.6651	0.1635	0.4723	0.0097	2496±27	2494±14	2494±43	100	2496±27
95	144	100	379	0.1157	0.0015	5.3902	0.0686	0.3380	0.0063	1891±24	1883±11	1877±31	100	1891±24
96	56	108	143	0.1177	0.0020	5.3063	0.0853	0.3272	0.0066	1922±30	1870±14	1825±32	103	1922±30
97	98	124	282	0.1131	0.0020	4.9550	0.0826	0.3179	0.0065	1850±32	1812±14	1780±32	102	1850±32
98	3	59	56	0.0361	0.0083	0.2574	0.0575	0.0518	0.0032	0±0	233±46	325±20	71	325±20
99	95	64	269	0.1149	0.0016	5.3504	0.0696	0.3381	0.0064	1878±24	1877±11	1878±31	100	1878±24
100	206	580	522	0.1148	0.0015	4.8928	0.0596	0.3094	0.0057	1877±23	1801±10	1738±28	104	1877±23

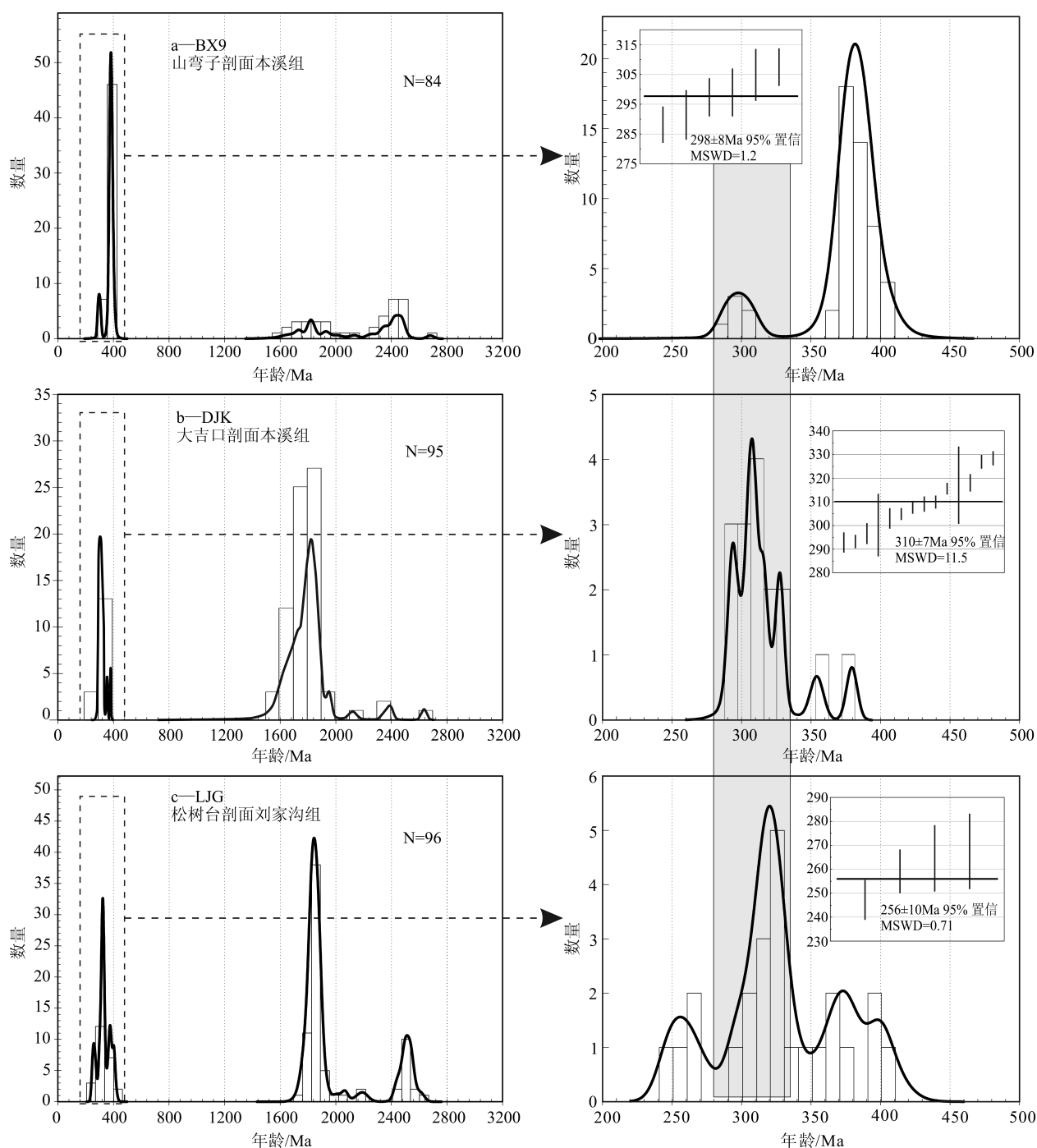


图5 碎屑锆石年龄谱

Fig.5 U-Pb age histograms of detrital zircons

包括石英岩、砂岩和燧石,形成于冲积扇或者潮坪环境。刘家沟组由交错层理砂岩夹少量砾岩与泥岩组成,形成于辫状河环境,砾石成分包括石英岩、砂岩、燧石、灰岩、火山岩和花岗岩。

## 4 结论

岩石地层对比和碎屑锆石年龄结果表明,大吉口和南台剖面与山弯子本溪组具有相似岩相组合、

砾石成分和碎屑锆石年龄组成,大吉口和南台剖面地层属于本溪组,并非先前认为的刘家沟组。文章重新定义了平泉地区的本溪组和刘家沟组。本溪组由灰白色砾岩、砂岩和灰色泥岩组成,形成于潮坪或冲积扇环境。砾石由石英岩、燧石和灰岩组成,最年轻的碎屑锆石年龄峰为晚石炭—早二叠世。刘家沟组由交错层理砂岩夹少量砾岩与泥岩组成,形成于辫状河环境,砾石成分包括石英岩、砂岩、燧石、灰岩、火山岩和花岗岩等,最年轻的碎屑锆石年龄峰为中—晚二叠世。

**致谢:**数据测试过程得到了中国科学院地质与地球物理研究所 Neptune MC-ICP-MS 实验室谢烈文、张艳斌和杨岳衡老师的热情帮助,两位审稿人和编辑李亚萍博士提供了很好的建议,在此一并感谢。

### 参考文献(References):

- [1] 李声之. 河北省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 60-73.  
Li Shengzhi. Stratigraphy of Hebei Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 60-73(in Chinese).
- [2] 卢功一, 窦文生. 河北三叠系[J]. 中国区域地质, 1982, (1): 82-91.  
Lu Gongyi, Dou Wensheng. The Triassic strata in Hebei Province[J]. Regional Geology of China, 1982, (1): 82-91(in Chinese).
- [3] 河北省地质矿产局. 河北省、北京市、天津市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 663-681.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province. Regional Geology of Hebei Province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 663-681(in Chinese with English abstract).
- [4] 张拴宏, 赵越, 刘健, 等. 华北地块北缘晚古生代—中生代花岗岩体侵位深度及其构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 625-638.  
Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jian, et al. Emplacement depths of the Late Paleozoic—Mesozoic granitoid intrusions from the northern North China block and their tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(3): 625-638(in Chinese with English abstract).
- [5] 张允平, 李景春. 华北及其以北地区晚古生代—早中生代构造格架主体特点[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 916-930.  
Zhang Yunping, Li Jingchun. Tectonic framework and main characteristics of North China and its northward areas in Late Paleozoic—Early Mesozoic period[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 916-930(in Chinese with English abstract).
- [6] 赵越, 陈斌, 张拴宏, 等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 900-915.  
Zhao Yue, Chen Bin, Zhang Shuanhong, et al. Pre-Yanshanian geological events in the northern margin of the North China Craton and its adjacent areas[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 900-915(in Chinese with English abstract).
- [7] 赵越. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 1990, 36(1): 1-13.  
Zhao Yue. The Mesozoic orogenesis and tectonic evolution of the Yanshan area[J]. Geological Reviews, 1990, 36(1): 1-13(in Chinese with English abstract).
- [8] 邓晋福, 肖庆辉, 邱瑞照, 等. 华北地区新生代岩石圈伸展减薄的机制与过程[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 751-761.  
Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, et al. Cenozoic lithospheric extension and thinning of North China: Mechanism and process[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 751-761(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈晋镛, 伍铁山. 华北区区域地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 65-86.  
Chen Jin'ao, Wu Tieshan. Regional Stratigraphy of North China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 65-86(in Chinese with English abstract).
- [10] 马收先. 华北地块北缘晚古生代构造沉积演化[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2011: 153.  
Ma Shouxian. Tectono-sedimentary Evolution of late Paleozoic Basins in the northern margin of North China Block[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 2011: 153(in Chinese with English abstract).
- [11] 谢烈文, 张艳斌, 张辉煌, 等. 锆石斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定[J]. 科学通报, 2008, 53(2): 220-228.  
Xie Liewen, Zhang Yanbin, Zhang Huihuang, et al. The in-situ measuring of U-Pb, Lu-Hf and trace elements of zircon and baddeleyite at the sametime[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(2): 220-228(in Chinese with English abstract).
- [12] Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao, et al. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian—Middle Triassic intrusive suites from the northern margin of the North China craton: Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. Geological Society of America Bulletin, 2009, 121(1/2): 181-200.

## The revision of the Benxi and Liujiagou Formations in Pingquan area

MA Shou-xian<sup>1</sup>, LV Tong-yan<sup>1</sup>, WU Guo-li<sup>2</sup>, DUAN Liang<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** According to 1:200000 and 1:50000 regional geological maps, the strata over the Ordovician Majiagou Formation along Dajiakou and Nantai profiles were assigned to the Liujiagou Formation. In this paper the authors performed lithostratigraphic correlation and dating of detrital zircons, and proposed that the strata above the surface of unconformity are Benxi Formation instead of Liujiagou Formation, as evidenced by the similar lithofacies associations, gravel compositions and age spectra of detrital zircons from Dajikou, Nantai and Shanwanzi profiles.

**Key words:** Pingquan; Benxi Formation; Liujiagou Formation; stratigraphic division; zircon U-Pb

---

**About the first author:** MA Shou-xian, male, born in 1982, doctor, majors in sedimentology; E-mail: msxpony2001@163.com.