

冀北-辽西地区土城子组的 LA-ICP-MS 测年

张宏^{①②*}, 韦忠良^①, 柳小明^②, 李栋^①

① 江苏工业学院机械与能源工程学院, 常州 213016;

② 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069

* E-mail: syzhanghongtt@163.com

收稿日期: 2008-03-04; 接受日期: 2008-06-16

高等学校科技创新引智计划(编号: B07039)和国家自然科学基金重点项目(批准号: 90714010)资助

摘要 土城子组是冀北-辽西地区中生界的关键层位, 对土城子组年龄的确定直接关系到冀北-辽西地区以及中国东部侏罗纪与白垩系界限的确定, 同时关系到中国东部相关的重大地质问题的研究。但是, 由于土城子组以粗碎屑岩为主, 其中化石的属、种较少, 而且化石的穿时性强, 所以古生物学家对土城子组的时代一直处在争论之中; 同时, 由于土城子组中的火山岩较少而使得同位素年代学的研究难度很大。因此, 土城子组的年代一直未能定论。以冀北-辽西地区土城子组中的凝灰岩夹层等为测年对象, 对冀北-辽西地区土城子组分布最广的承德盆地和金岭寺-羊山盆地进行了采样和测年, 结合已有的测年数据, 表明了冀北-辽西地区土城子组的年龄范围在 147~136 Ma 之间, 暗示了土城子组主体是早白垩世的产物。

关键词

土城子组

LA-ICP-MS

测年

冀北-辽西地区

在冀北-辽西地区, 土城子组分布广泛, 是地质学者一直关注的中生代地层之一^[1-11]。很多学者对土城子组进行了构造和沉积学方面的研究^[10-16], 也有很多学者进行了古生物学方面的研究^[1-9], 并多次探讨了侏罗纪与白垩纪的界限问题^[2-6]。目前, 很多学者认为侏罗系与白垩系的界限在土城子组与张家口组之间^[12-16], 并且以承德骆驼山地区土城子组与张家口组之间的角度不整合作为直接证据^[15], 认为该地区张家口组的下限年龄在 135 Ma 左右^[12-14, 16]。一直以来, 由于无法测得土城子组的年龄, 所以, 对承德骆驼山地区土城子组与张家口组之间角度不整合的下限年龄无法讨论, 对中国东部侏罗纪与白垩纪的界限问题也无法深入研究。目前, 多数研究者对土城子组年代学的认识主要是根据该层位之上的张家口组火山岩和该层位之下的髫髻山组火山岩的测年数据进行约束。

土城子组的时代一直未能定论, 主要有 2 个原因:

一是土城子组以粗碎屑岩为主, 其中的化石属、种较少, 化石组合有明显的穿时性, 缺少公认的、可准确定年的化石属、种, 所以对土城子组的时代一直处在争论之中。例如, 有的学者认为土城子组是中侏罗-晚侏罗世形成的^[9], 也有的学者认为土城子组是晚侏罗世形成的^[1, 3-7, 12-18]。另一个原因是土城子组中的火山岩非常少, 难以找到可以测年的矿物(或岩石), 这给同位素测年工作带来了极大的困难。近年来, Swisher 等^[19]测得了辽西北票四合屯地区的土城子组上部层位的 Ar-Ar 年龄是 (139.1 ± 0.2) Ma, 杨进辉在张家口地区获得土城子组中英安岩的结晶年龄是 (130 ± 1) Ma^[20], 这两个同位素年龄暗示了土城子组的时代可能不像古生物学家想象的那样老, 甚至有可能是早白垩世的产物^[21]。如果土城子组是早白垩世形成的, 那么, 地学界原先在古生物学和构造学等诸多方面的很多认识将有待于进一步研究和修正。

我们选择了冀北-辽西地区土城子组最为发育的

盆地作为研究对象,即冀北的承德盆地、辽西的金岭寺-羊山盆地(金-羊盆地),对土城子组中的凝灰岩夹层等进行了系统的采样和测年(表 1)。

1 冀北-辽西地区土城子组的分布和特点

在冀北地区,土城子组主要分布在赤诚的雕鹗、滦平、承德和平泉等盆地中,其中,承德盆地中土城子组的规模最大^[22],滦平盆地中土城子组的厚度仅次于前者。在滦平盆地中,土城子组与张家口组之间是整合接触^{[13,21]1)}。值得注意的是,在赤诚的雕鹗盆地,土城子组与张家口组之间没有明显的界限,而是一种过渡关系^[21]。但是在承德的骆驼山、鸡冠山,平泉的双庙地区,土城子组沉积岩褶皱后被一套酸性火山熔岩角度不整合所覆盖。目前,很多研究者认为,在承德的骆驼山、鸡冠山地区,不整合覆盖在土城子组之上的熔岩是张家口组的火山熔岩,并以此作为冀北-辽西地区 J_3-K_1 界线和中生代构造转换的重要的直接证据^[12-16]。在冀北地区,土城子组沉积岩与下伏髫髻山组火山岩之间呈平行不整合接触。

在辽西地区,土城子组主要分布在凌源的三十家子盆地、朝阳盆地、金-羊盆地、北票盆地,其中在金-羊地中的土城子组规模最大。在辽西地区,土城子组沉积岩与下伏髫髻山组火山岩之间呈平行不整合接触,土城子组之上多是义县组,并且二者之间呈角度不整合接触^[6,23]。

2 样品的采集及制样

在承德盆地中,样品 CD10 位于土城子组的底部附近,采样点是一层 1~2 m 左右的熔解凝灰岩,之下是土城子组的砾岩,厚度是 5~7 m,该砾岩层之下是

髫髻山组的火山岩(图 1)。

在金岭寺-羊山盆地中,样品 CY05 位于土城子组的顶部附近(上部),采样点之上是义县组底部砾岩(图 1),样品 BP01 位于土城子组的一段层顶部的凝灰岩夹层中(图 1, 2),样品 BT04 位于髫髻山组顶部与土城子组底部的接触带中,是一层安山岩熔岩角砾(图 1),但明显是由两种颜色的熔岩角砾组成。

锆石的分选是在河北区调院(廊坊)完成的。样品经过破碎、淘洗、电磁选、重液分选,然后在双目镜下挑选,得到含包裹体少、无明显裂隙且晶形完好的锆石,在双目镜下将锆石样品粘在双面胶上,制成靶。锆石的阴极发光(CL)图像是在中国科学院地质与地球物理研究所用 CAMECA SX-50 电子探针完成的。

3 测年方法

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年分析是在大陆动力学国家重点实验室(西北大学)进行的。在 LA-ICP-MS 锆石原位 U-Pb 定年分析中,激光剥蚀系统是德国 Lambda Physik 公司的 GeoLas 200M 深紫外(DUV)193nm ArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,在分析中,采用的激光斑束直径是 30 μm , U, Pb 含量分析以 ^{29}Si 作为内标, NIST SRM 610 作外标进行校正; U-Pb 年龄分析则以哈佛大学标准锆石 91500 作为外标校正。同位素比值数据处理采用 GLITTER(4.0 版)软件,并使用 Andersen (2002)的软件对测试数据进行普通铅校正^[24], 年龄计算及成图采用 ISOPLOT(3.0 版)软件进行,使用的 ICP-MS 为 Agilent 7500a 型。具体仪器参数及数据处理方法见参考文献^[25, 26]。

表 1 冀北-辽西地区土城子组测年样品一览

样品号	GPS 坐标	地点	岩性	层位	测年结果/Ma
CD10	N:40°48.046', E:118°05.332'	承德公路边	灰色 熔解凝灰岩	土城子组底部	146.5±1.7
CY05	N:41°36.267', E:120°48.387'	北票四合屯	灰白色 凝灰岩	土城子组顶部 (上部)	137.2±6.7
BP01	N:41°32.936', E:120°49.920'	巴图营子	灰白色 凝灰岩	土城子组 一段顶部	141.6±1.3
BT04	N:41°29.809', E:120°48.166'	朝阳塔山沟	(两种)安山岩	土城子组底部	147.4±2.2

1) 河北省地质矿产勘查开发局. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:5 万). 小白旗幅 K50E019013, 滦平县幅 K50E019014, 滦河幅 K50E019015. 1995

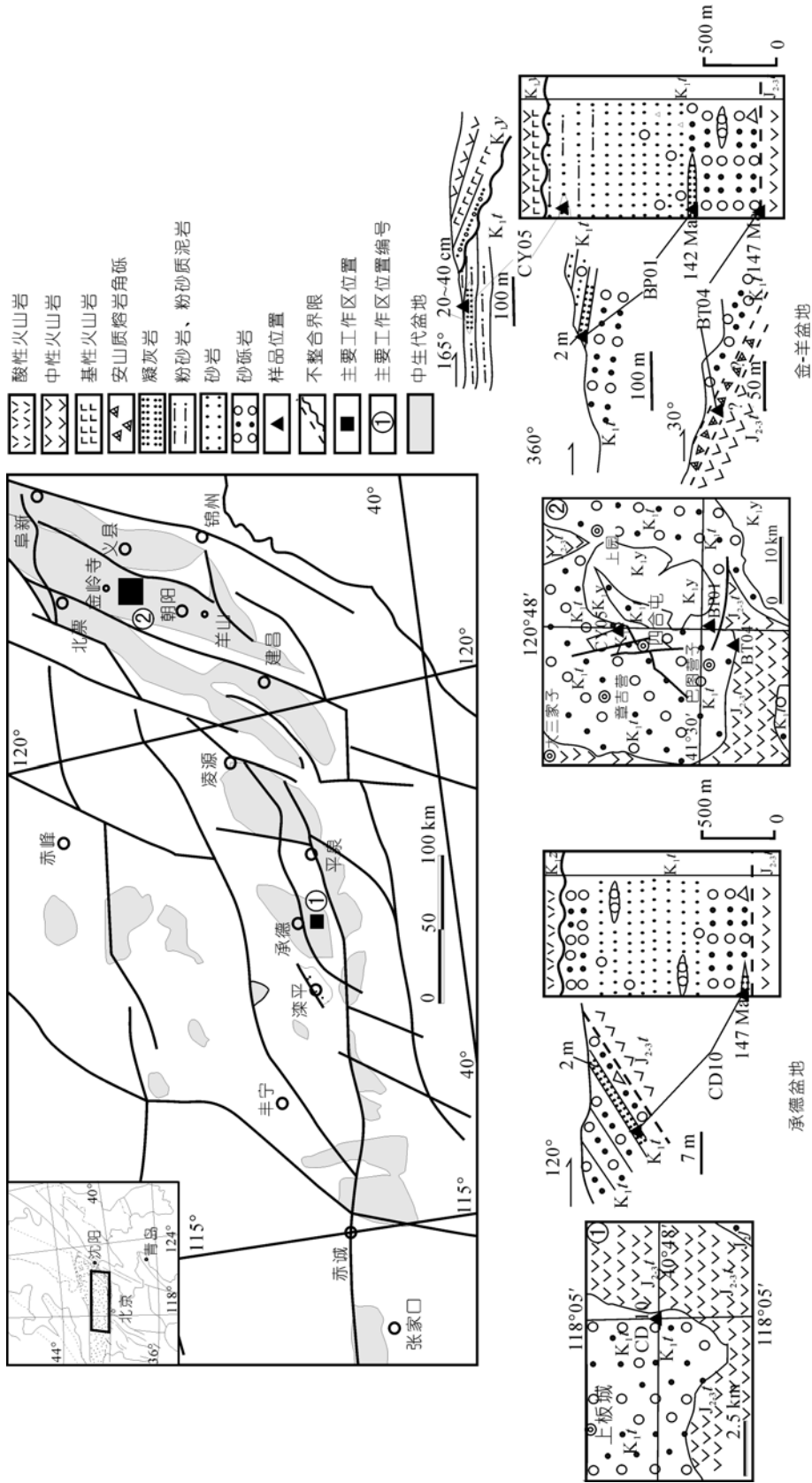


图 1 冀北-辽西地区土城子组火山岩的采样位置简图
 $J_{2,3}f$: 髫髻山组; K_1f : 土城子组; K_{1z} : 张家口组; K_1y : 义县组

4 冀北-辽西地区土城子组的测年结果

样品 CD10 中, 锆石以柱状为主、无核部、成分环带发育(图 3). 共有 13 个样品测点, 普通铅校正后具体分析数据中除去远离 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和线的 6 号点和远离加权平均值的 10 号点后(表 2), 其余 11 个锆石分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄是 (146.5 ± 1.7) Ma (图 4).

样品 CY05 中, 锆石以柱状、短柱状为主, 无核部, 部分锆石为沉积锆石, 晶形完整的柱状岩浆锆石成分环带发育(图 3). 有 9 个锆石的分析点, 经过普通铅校正后的具体分析数据中, 3 和 4 号点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄过大, 5 号点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 数据为 125 Ma, 年龄太小(可能是混入锆石), 1 号点的数据谐和, 但是与样品的平均值差别较大, 以上分析点均被剔除. 其余的 5 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄是 (137.2 ± 6.7) Ma (图 4).

样品 BP01 中, 锆石以柱状、椭球状为主, 晶型完整、无核部, 锆石成分环带不清晰, 并且在边缘更



图 2 辽西金羊盆地土城子组一段顶部凝灰岩夹层 BP01 采样点

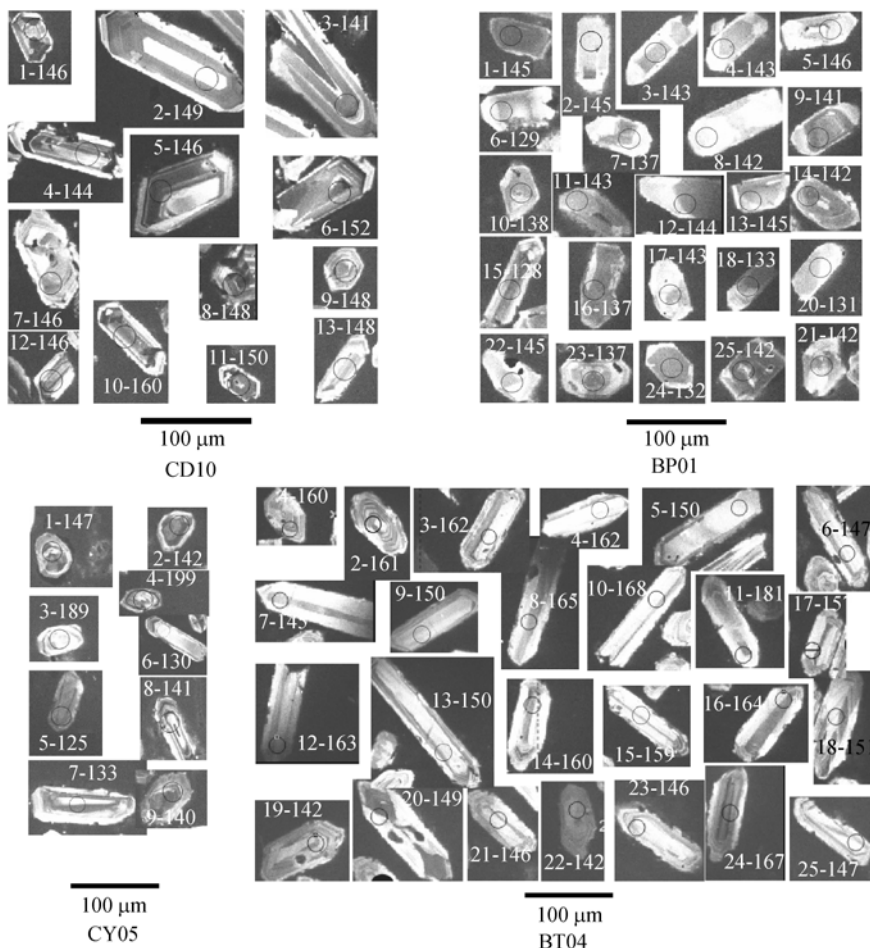


图 3 火山岩样品中锆石的阴极发光照片

黑色圆圈是激光剥蚀斑径位置, 照片中数字编码中的前一个数字是测点的编号, 横线后面的数值是该测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的单点测年结果

表 2 冀北-辽西地区土城子组样品测试结果一览^{a)}

锆石 编号	Pb (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	年龄/Ma			
											²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
CD10-1	12	762	231	3.30	0.0575	0.0017	0.1815	0.0052	0.02289	0.00025	169	4	146	2
CD10-2	4	157	94	1.67	0.0551	0.0029	0.1778	0.0091	0.02342	0.00033	166	8	149	2
CD10-3	5	271	117	2.31	0.0513	0.0030	0.1569	0.0088	0.02217	0.00032	148	8	141	2
CD10-4	6	213	172	1.23	0.0536	0.0026	0.1669	0.0079	0.02259	0.00031	157	7	144	2
CD10-5	6	377	120	3.13	0.0461	0.0034	0.1454	0.0107	0.02290	0.00032	138	9	146	2
CD10-6*	10	656	190	3.45	0.0687	0.0018	0.2255	0.0058	0.02381	0.00026	206	5	152	2
CD10-7	3	96	92	1.04	0.0600	0.0032	0.1901	0.0098	0.02298	0.00033	177	8	146	2
CD10-8	17	1162	294	3.95	0.0573	0.0018	0.1838	0.0055	0.02325	0.00026	171	5	148	2
CD10-9	11	278	329	0.85	0.0525	0.0015	0.1675	0.0047	0.02316	0.00025	157	4	148	2
CD10-10*	25	1310	456	2.87	0.0473	0.0014	0.1635	0.0047	0.02506	0.00027	154	4	160	2
CD10-11	11	585	205	2.85	0.0569	0.0022	0.1841	0.0070	0.02347	0.00029	172	6	150	2
CD10-12	4	168	112	1.50	0.0509	0.0033	0.1608	0.0101	0.02293	0.00037	151	9	146	2
CD10-13	3	113	66	1.70	0.0501	0.0039	0.1604	0.0121	0.02320	0.00041	151	11	148	3
CY05-1*	24	813	727	1.12	0.0490	0.0011	0.1555	0.0032	0.02301	0.00023	147	3	147	1
CY05-2	14	391	445	0.88	0.0568	0.0019	0.1747	0.0055	0.02231	0.00026	163	5	142	2
CY05-3*	13	315	214	1.47	0.0461	0.0032	0.1893	0.0129	0.02981	0.00035	176	11	189	2
CY05-4*	12	244	288	0.85	0.0541	0.0016	0.2337	0.0067	0.03131	0.00035	213	5	199	2
CY05-5*	6	176	198	0.89	0.0461	0.0029	0.1248	0.0076	0.01965	0.00024	119	7	125	2
CY05-6	9	135	330	0.41	0.0506	0.0029	0.1422	0.0081	0.02037	0.00026	135	7	130	2
CY05-7	5	106	211	0.50	0.0493	0.0024	0.1414	0.0066	0.02081	0.00024	134	6	133	2
CY05-8	11	319	352	0.91	0.0546	0.0023	0.1660	0.0067	0.02206	0.00028	156	6	141	2
CY05-9	13	372	429	0.87	0.0506	0.0023	0.1532	0.0068	0.02198	0.00029	145	6	140	2
BP01-1	14	279	505	0.55	0.0490	0.0019	0.1540	0.0058	0.02277	0.00028	145	5	145	2
BP01-2	12	327	377	0.87	0.0523	0.0033	0.1642	0.0100	0.02277	0.00038	154	9	145	2
BP01-3	6	106	185	0.57	0.0499	0.0070	0.1545	0.0212	0.02246	0.00055	146	19	143	3
BP01-4	7	151	226	0.67	0.0481	0.0045	0.1486	0.0136	0.02241	0.00043	141	12	143	3
BP01-5	6	110	227	0.48	0.0493	0.0044	0.1552	0.0136	0.02284	0.00048	146	12	146	3
BP01-6*	11	219	380	0.58	0.0513	0.0038	0.1434	0.0104	0.02028	0.00029	136	9	129	2
BP01-7	6	120	223	0.54	0.0488	0.0043	0.1446	0.0125	0.02150	0.00042	137	11	137	3
BP01-8	4	65	151	0.43	0.0499	0.0035	0.1531	0.0104	0.02223	0.00037	145	9	142	2
BP01-9	9	207	331	0.63	0.0532	0.0028	0.1618	0.0084	0.02207	0.00033	152	7	141	2
BP01-10	9	174	295	0.59	0.0490	0.0033	0.1465	0.0096	0.02169	0.00031	139	8	138	2
BP01-11	6	94	209	0.45	0.0507	0.0039	0.1564	0.0119	0.02238	0.00036	148	10	143	2
BP01-12	4	74	153	0.48	0.0495	0.0033	0.1537	0.0099	0.02254	0.00036	145	9	144	2
BP01-13	6	154	207	0.75	0.0489	0.0035	0.1535	0.0106	0.02275	0.00039	145	9	145	2
BP01-14	10	171	367	0.47	0.0527	0.0027	0.1618	0.0081	0.02226	0.00032	152	7	142	2
BP01-15*	11	333	371	0.90	0.0496	0.0040	0.1376	0.0109	0.02013	0.00032	131	10	128	2
BP01-16	17	325	615	0.53	0.0467	0.0017	0.1380	0.0050	0.02146	0.00025	131	4	137	2
BP01-17	5	93	189	0.49	0.0500	0.0043	0.1550	0.0130	0.02250	0.00041	146	11	143	3
BP01-18*	8	237	261	0.91	0.0956	0.0040	0.2747	0.0110	0.02085	0.00032	246	9	133	2
BP01-19*	6	143	210	0.68	0.0524	0.0046	0.1453	0.0126	0.02012	0.00032	138	11	128	2
BP01-20*	6	94	203	0.46	0.0511	0.0041	0.1450	0.0115	0.02056	0.00033	137	10	131	2
BP01-21	4	98	152	0.64	0.0524	0.0035	0.1616	0.0106	0.02235	0.00038	152	9	142	2
BP01-22	6	122	222	0.55	0.0509	0.0036	0.1598	0.0109	0.02277	0.00039	151	10	145	2
BP01-23	4	77	130	0.59	0.0461	0.0039	0.1367	0.0113	0.02153	0.00039	130	10	137	2
BP01-24*	9	269	323	0.83	0.0482	0.0031	0.1373	0.0085	0.02065	0.00028	131	8	132	2
BP01-25	17	354	605	0.59	0.0494	0.0015	0.1511	0.0044	0.02220	0.00024	143	4	142	2
BP01-26	6	97	202	0.48	0.0486	0.0028	0.1522	0.0086	0.02271	0.00033	144	8	145	2
BP01-27	14	282	509	0.55	0.0504	0.0019	0.1479	0.0053	0.02127	0.00025	140	5	136	2
BP01-28	8	159	286	0.56	0.0434	0.0030	0.1303	0.0089	0.02177	0.00028	124	8	139	2

表 2(续)

锆石 编号	Pb (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	年龄/Ma			
											²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
BP01-29*	15	327	538	0.61	0.0545	0.0035	0.1537	0.0095	0.02047	0.00029	145	8	131	2
BP01-30*	5	110	214	0.52	0.0778	0.0054	0.2121	0.0141	0.01977	0.00040	195	12	126	3
BP01-31	16	287	543	0.53	0.0506	0.0016	0.1568	0.0047	0.02246	0.00025	148	4	143	2
BP01-32	9	161	307	0.52	0.0461	0.0026	0.1366	0.0074	0.02151	0.00030	130	7	137	2
BT04-1	2	46	61	0.74	0.0492	0.0039	0.1706	0.0134	0.02517	0.00038	160	12	160	2
BT04-2	2	41	54	0.77	0.0461	0.0036	0.1611	0.0122	0.02534	0.00038	152	11	161	2
BT04-3	3	132	69	1.91	0.0587	0.0033	0.2051	0.0113	0.02537	0.00037	189	10	162	2
BT04-4	8	292	212	1.38	0.0544	0.0016	0.1909	0.0056	0.02547	0.00028	177	5	162	2
BT04-5	3	66	86	0.78	0.0518	0.0032	0.1679	0.0101	0.02351	0.00036	158	9	150	2
BT04-6	6	247	153	1.61	0.0539	0.0026	0.1711	0.0080	0.02303	0.00031	160	7	147	2
BT04-7*	4	152	103	1.48	0.0733	0.0064	0.2363	0.0202	0.02338	0.00042	215	17	149	3
BT04-8*	2	74	52	1.42	0.0655	0.0080	0.2334	0.0282	0.02585	0.00055	213	23	165	3
BT04-9	5	279	117	2.38	0.0509	0.0024	0.1655	0.0076	0.02357	0.00030	155	7	150	2
BT04-10	3	102	70	1.46	0.0534	0.0033	0.1942	0.0116	0.02637	0.00040	180	10	168	3
BT04-11*	2	61	59	1.02	0.0547	0.0036	0.2144	0.0136	0.02841	0.00046	197	11	181	3
BT04-12	4	109	92	1.18	0.0556	0.0021	0.1959	0.0073	0.02557	0.00030	182	6	163	2
BT04-13	6	231	157	1.47	0.0540	0.0025	0.1762	0.0078	0.02368	0.00031	165	7	151	2
BT04-14	3	114	95	1.20	0.0514	0.0025	0.1780	0.0085	0.02511	0.00033	166	7	160	2
BT04-15	3	67	74	0.90	0.0489	0.0030	0.1679	0.0102	0.02490	0.00035	158	9	159	2
BT04-16	6	183	159	1.15	0.0554	0.0017	0.1963	0.0059	0.02571	0.00028	182	5	164	2
BT04-17	2	73	68	1.06	0.0567	0.0028	0.1922	0.0093	0.02460	0.00032	178	8	157	2
BT04-18	2	75	64	1.18	0.0543	0.0024	0.1770	0.0075	0.02364	0.00029	165	7	151	2
BT04-19	2	71	59	1.19	0.0510	0.0044	0.1567	0.0134	0.02230	0.00034	148	12	142	2
BT04-20	2	45	44	1.04	0.0470	0.0039	0.1518	0.0124	0.02342	0.00034	143	11	149	2
BT04-21	3	71	64	1.11	0.0537	0.0091	0.1702	0.0287	0.02299	0.00052	160	25	146	3
BT04-22	2	79	59	1.35	0.0481	0.0036	0.1482	0.0109	0.02235	0.00030	140	10	142	2
BT04-23	4	142	95	1.49	0.0604	0.0027	0.1903	0.0083	0.02285	0.00030	177	7	146	2
BT04-24	6	126	158	0.80	0.0547	0.0023	0.1984	0.0080	0.02632	0.00033	184	7	167	2
BT04-25	4	176	116	1.53	0.0470	0.0029	0.1496	0.0089	0.02308	0.00028	142	8	147	2

a) 有*的数据号为计算加权平均值时剔除的数据

为发育(图 3); 同时见有扇形分带, 而且具有扇形分带的锆石多数为椭球状(这种特点与冀北滦平地区张家口组的锆石特点非常一致^[21]). 有 32 个锆石的分析点, 经过普通铅校正后的具体分析数据中, 30 号点的 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 的数值过大(不谐和)(表 2)而被剔除. 6,15,18,19,20,24,29 号点的年龄在 132~128 Ma 之间, 虽然比较谐和, 但是与样品的平均值偏离较大. 从该采样点的具体情况, 采样区有大量义县组火山岩(132~120 Ma)的分布, 并且位于采样点之上, 而且采样点地处地表径流的下游(图 2), 义县组火山岩位于上游, 加之采样点附近岩石疏松, 因此, 认为这些数据是在采样过程中的混入锆石造成的, 所以这些分析点被剔除. 其余的 24 个点的非常谐和, 其 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 的加权平均年龄是(141.6±1.3) Ma (图 4).

样品 BT04 中, 锆石以长柱状为主, 振荡环带发育, 不见有核部, 长轴主要在 80~140 μm 之间. 共 25 个锆石的分析点, 锆石的 Th/U 比值在 0.74~2.38 (表 2), 表明这些锆石是岩浆成因, 经过普通铅校正后, 因 7, 8, 11 号点的数据远离谐和线而被剔除, 其余 22 个点均位于 ²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和线上或附近, 并且有两个峰值, 分别为(161.8±2.1)和(147.4±2.2) Ma (图 4). 笔者研究认为, (161.8±2.1) Ma 的年龄代表髻髻山组火山岩的年龄, 而(147.4±2.2) Ma 的年龄代表该地区土城子组底部的年龄, 理由如下:

(1) 这两个均值差额在 15 Ma 左右, 而且, 从单颗粒锆石的测年结果来看(表 2), 这些锆石的年龄也是截然不同的两组, 其中没有两个峰值之间的过渡年龄, 而髻髻山组的火山岩, 作为该地区的一期岩浆

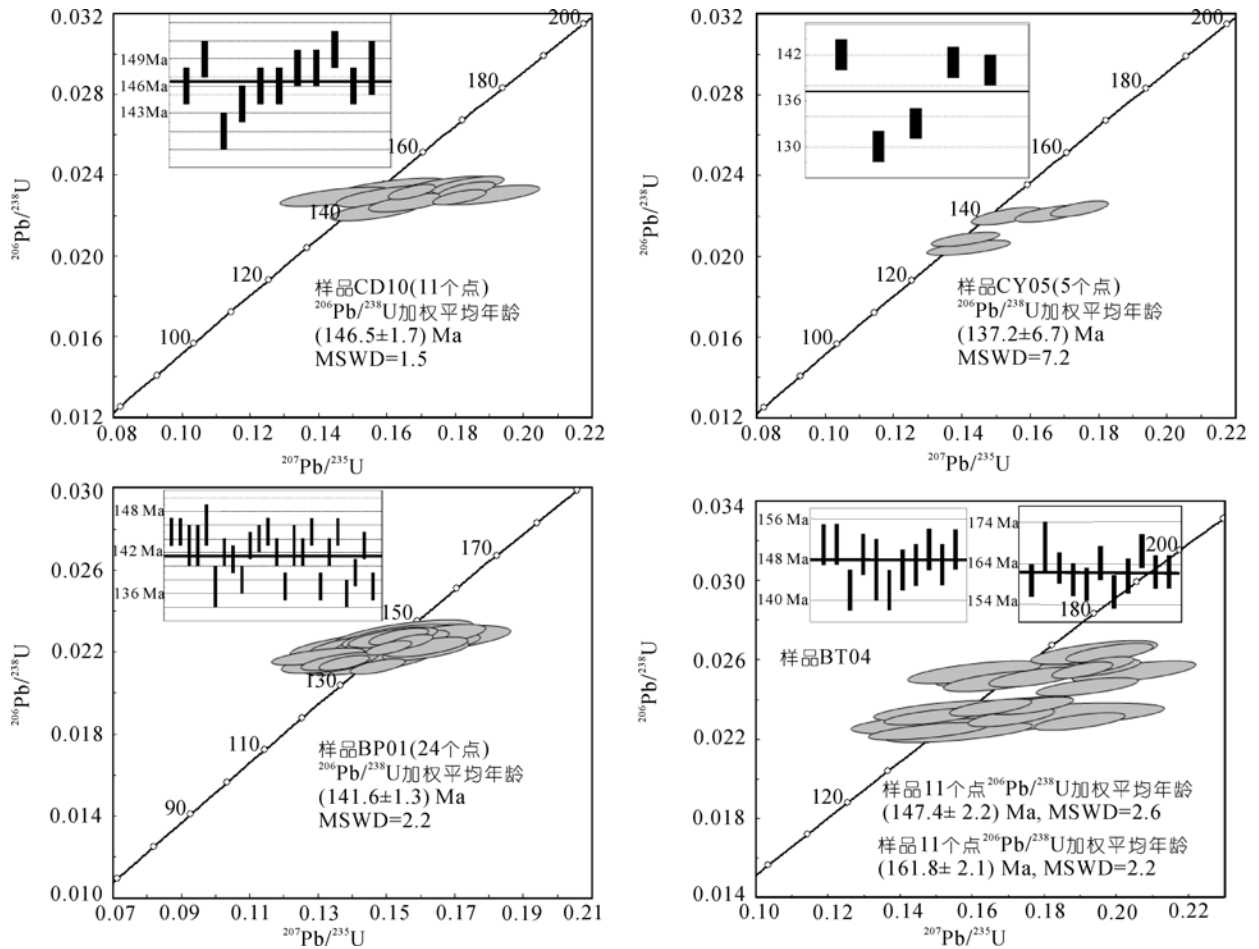


图 4 冀北-辽西地区土城子组火山岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

作用, 其岩浆锆石的形成不可能出现长时间的间断, 否则应是不同构造体制、不同岩浆作用的产物。

(2) 该采样点的具体情况: 采样点位于髫髻山组与土城子组的界限附近, 采样点的岩石为两种颜色熔岩块体(角砾)的松散堆积, 厚度约 40~60 m, 之下为髫髻山组灰色的块状安山岩, 之上为土城子组的底部角砾岩层(砾岩层厚度约 190 m)。从采样位置来看, 该样品的位置非常类似于承德盆地土城子组底部的 CD10 样品(见本文), 而且, 两者的年龄非常接近。

(3) (161.8±2.1) Ma 的年龄与髫髻山组的年龄对应¹⁾, 而且与附近地区(义县盆地西缘)髫髻山组火山岩的年龄(163~167 Ma)^[7]相近。(147.4±2.2) Ma 的年龄

对髫髻山组而言偏小, 但是与承德盆地土城子组底部的样品 CD10 的年龄(147 Ma)完全吻合(见本文), 与滦平盆地土城子组一段顶部(底部角砾岩层顶)凝灰岩的年龄((142.6±1.3) Ma)接近^[21], 也与该盆地中土城子组一段顶部凝灰岩的年龄接近(BP01: (141.6±1.3) Ma)。

5 冀北-辽西地区土城子组的测年结果以及相关问题的分析

5.1 冀北-辽西地区土城子组年龄的分析

在辽西的金-羊盆地中, 样品 CY05((137.2±6.7) Ma)的数据谐和性较差, 可信度较低, 样品 BP01((141.6±1.3) Ma)和样品 BT04((147.4±2.2) Ma)的数据

1) 张宏, 王明新, 柳小明. 冀北-辽西地区土城子组的 LA-ICP-MS 测年. 科学通报, 2008

谐和性好,可信度高.其中,样品BT04 位于土城子组的底部,所以该样品的年龄(147.4±2.2) Ma可代表该地区土城子组的底部年龄.样品CY05 取自土城子组的顶部附近(图 1),但是在该采样点附近的土城子组与义县组之间是角度不整合,所以该采样点并不代表真正的土城子组的顶部(而是上部),即该测年结果更可能的是代表土城子组上部层位的年龄.样品CY05 数据的可信度较低,但是结合Swisher等^[19]在同地区(四合屯)、同层位获得的Ar-Ar测年结果((139.1±0.2) Ma)^[19],暗示该盆地中土城子组的上部层位的年龄大致在(139~137) Ma附近.

在冀北的承德盆地,样品CD10((146.5±1.7) Ma)的分析的点虽然不多,但是非常谐和,可信度高.并且,该样品与金-羊盆地中底部样品 BT04 的年龄((147.4±2.2) Ma)非常吻合.反映了辽西的金-羊盆地和冀北的承德盆地中的土城子组具有相同的底部年龄(147 Ma).

另外,笔者在冀北滦平盆地土城子组的凝灰岩夹层获得了 3 个测年数据,分别是(136.4±1.9) Ma(样品 328-4), (139.6±1.5) Ma (样品 328-3)和(142.6±1.3) Ma 样品(328-2)^[21].在滦平盆地,样品 328-3, 328-4 均位于土城子组顶部附近的同一个凝灰岩夹层中^[21](图 5, 6),样品 328-2 ((142.6±1.3) Ma)位于土城子组一段顶部的凝灰岩夹层中^[21].值得指出的是,样品 328-3 中约占一半的锆石中普通铅的含量高,其中多个年龄在 132~136 Ma 的单颗粒锆石数据因²⁰⁷Pb/²³⁵U 的值偏高(不谐和)而被剔除,而使得该样品的年龄偏高^[21],即(139.6±1.5) Ma的可信度明显低于(136.4±1.9) Ma,也就是说(136.4±1.9) Ma作为该盆地土城子组的顶部年龄更为可信.样品 328-2((142.6±1.3) Ma)的数据谐和性非常好,具有很高的可信度.可见,该盆地土城子组的主体年龄范围是在(142.6±1.3)~(136.4±1.9) Ma之间.应指出的是,由于样品 328-2 不是位于土城子组的真正底部,其下面土城子组一段的厚度较大,所以,滦平地区土城子组的底部年龄应该大一些,即滦平盆地土城子组的底部年龄应比(142.6±1.3) Ma值更大.

这里,笔者应强调指出的是,在辽西的金-羊盆地,样品 BP01 所在层位的凝灰岩非常稳定,有的地区厚度可达 10 m 左右(图 7)(这是后来野外考察时发



图 5 滦平土城子组中样品 328-4 采样点

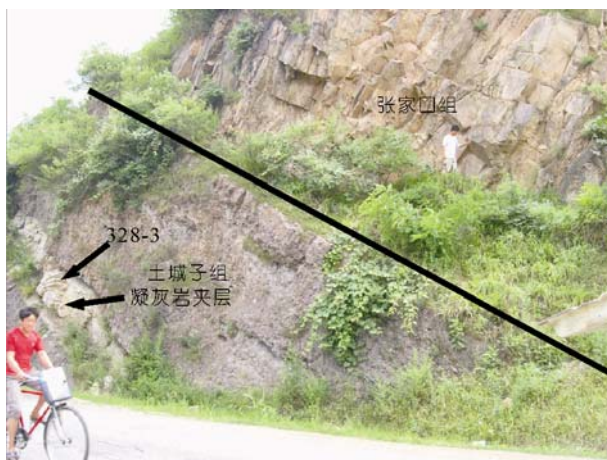


图 6 滦平张家口组与土城子组接触关系土城子组样品 328-3 采样点



图 7 辽西金岭寺-羊山盆地土城子组一段顶部凝灰岩夹层,厚度在 4~10 m 左右

现的), 这说明在 141 Ma 左右, 该地区的火山作用的规模较大. 更值得注意的是, 该地区的这一层凝灰岩夹层竟然与滦平盆地的凝灰岩夹层的层位(样品 328-2 的层位)、测年结果均吻合, 暗示了在 141~142 Ma 期间, 冀北-辽西地区有一次明显的火山作用过程.

以上测年数据的分析表明, 在冀北-辽西地区, 土城子组的底部年龄在 147 Ma 附近, 顶部限年龄在 136 Ma 左右, 即土城子组的年龄范围在 147~136 Ma 之间是可信的.

5.2 冀北-辽西地区土城子组与张家口组之间的关系

在野外, 土城子组与张家口组的接触关系有两种: 一种是张家口组与土城子组之间为整合接触至过渡关系, 这种现象在滦平以西的冀北地区普遍存在. 另一种是张家口组与土城子组之间为角度不整合接触. 这种现象只见于承德的骆驼山、鸡冠山和平泉的双庙地区, 表现为土城子组碎屑岩褶皱之后为张家口组火山岩角度不整合覆盖.

张家口组的测年数据已经有了一定的积累(图 8). 在张家口-赤诚地区, 邵济安在冀北崇礼县大水沟、赤诚县炮台镇分别获得张家口组的 Rb-Sr 年龄为 (139.2±8.9)和(138±13) Ma^[27] (图 8), Zhang等^[28]在张家口地区张家口组的上部和下部分别获得了的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(136.1±1.4), (138.9±2.7),

(139.6±2.6), (143.0±3.7) Ma, 杨进辉等^[20]在张家口地区张家口组的中部获得了 126±1 的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄. 在滦平盆地, 季强等^[7]在井上获得张家口组底部流纹岩透长石的 Ar-Ar 年龄为 135.3±1.4, Niu等^[16]在郝营的张家口组底部获得的 SHRIMP U-Pb 年龄为 (133.9±1.3) Ma, 柳永清等^[8]在张家沟门的张家口组顶部获得(135.4±1.6) Ma 的 SHRIMP U-Pb 年龄, 张宏等^[21]在张家沟门和郝营附近分别获得(135.2±2.3)和 (135.7±1.8) Ma 的顶部和底部的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄. 可见, 滦平至张家口地区的张家口组的测年数据较多, 并多数在 134~143 Ma 之间(图 8), 仅有一个测年数据较小, 为 126 Ma^[20]. 然而, 在承德至平泉地区的张家口组的年龄是非常不同的. 在承德, 刊发原始测试数据的张家口组年龄只有两个, 分别为(128.8±1.3)和(125.9±2.8) Ma^[16]. 笔者在平泉地区测得与土城子组呈角度不整合火山岩的年龄范围 122~126 Ma 之间(尚未发表). 可见, 冀北的滦平至张家口地区的张家口组与承德、平泉地区的张家口组在地层产状特征、年代学特征上均是不同的.

在滦平地区, 张家口组的研究比较深入, 多种测年方法均表明该地区张家口组的主体年龄在 136~134 Ma 之间^[7,8,16,21]. 笔者测得滦平盆地土城子组的主体年龄范围为 136~142 Ma^[21], 同时, 由于该地区土城子组与张家口组之间是整合关系^[21], 说明测年数据与地质现象很吻合. 更值得注意的是, 在张家口地区, 张家口组的主体年龄范围在 143~136 Ma, 这相当于

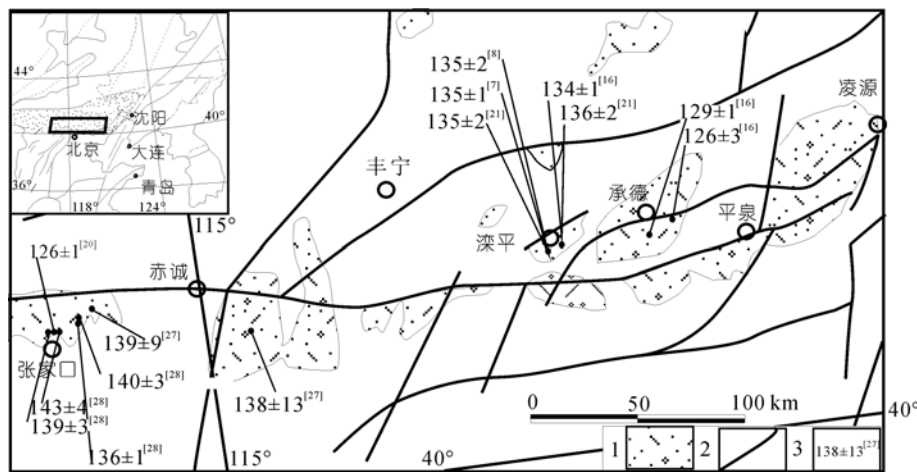


图 8 冀北地区张家口组火山岩测年数据的取样位置情况简图

1, 中生代盆地; 2, 断裂; 3, 测年数据及参考文献(年龄单位为 Ma)

滦平盆地张家口组和土城子组的年龄之和^[28], 并且与辽西-冀北地区土城子组的年龄范围相当。

根据以上分析, 最基本的推断是: 在冀北的滦平至张家口地区, 土城子组与张家口组不仅是整合关系, 而且是同一构造背景下形成不同阶段的产物。

6 结论和意义

冀北-辽西地区土城子组的年龄范围在 147~136 Ma 之间, 并且, 在 141~142 Ma 前后, 在辽西-冀北地

区有一次普遍的、较强烈的火山活动。

冀北-辽西地区土城子组的年龄是地质工作者一直关注而又没能解决的问题。本文对土城子组年龄的限定, 对于进一步探讨中国东部中生代构造、岩浆作用演化的特点, 华北克拉通中生代拆沉的时间、背景, 确定中国东部侏罗-白垩纪界限, 以及进一步探讨冀北地区张家口组的解体等问题提供了重要的证据, 暗示了冀北-辽西地区的土城子组主体是早白垩世的产物。

致谢 西北大学袁洪林教授和西北大学大陆动力学国家重点实验室工作人员给予了大力支持, 中国科学院地质与地球物理研究所阴极发光实验室研究人员给予了帮助, 河北区调研究院张晔卿先生在野外工作中给予了指导和大力支持, 审稿专家提出修改意见, 在此一并致谢。

参考文献

- 1 Sun G, Dilcher D L, Zheng S L, et al. In search of the first flower: a Jurassic angiosperm, *Archaeofructus* from Northeast China. *Science*, 1998, 282(5394): 1692—1695[DOI]
- 2 陈丕基. 热河生物群的分布与迁移——兼论中国陆相侏罗-白垩系的界线划分. *古生物学报*, 1988, 27(6): 659—683
- 3 季强, 柳永清, 姬书安, 等. 论中国陆相侏罗系-白垩系界线. *地质通报*, 2006, 25(3): 336—339
- 4 孙革, 郑少林. 中国东北中生代地层划分对比之新见. *地层学杂志*, 2000, 24 (1): 60—64
- 5 陈丕基. 中国陆相侏罗、白垩系划分对比述评. *地层学杂志*, 2000, 24 (2): 114—119
- 6 王五力, 张宏, 张立君, 等. 土城子阶、义县阶标准地层剖面及其地层古生物、构造——火山作用. 北京: 地质出版社, 2004. 4—90
- 7 季强, 等. 中国辽西中生代热河生物群. 北京: 地质出版社, 2004. 123—375
- 8 柳永清, 李佩贤, 田树刚, 等. 冀北滦平晚中生代火山碎屑(熔)岩中钻石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石矿物学杂志*, 2003, 22(3): 238—244
- 9 郑少林, 张武, 丁秋红. 辽西中上侏罗统土城子组植物化石的新发现. *古生物学报*, 2001, 40 (1): 67—85
- 10 和政军, 李锦秋, 牛宝贵, 等. 燕山-阴山地区晚侏罗世强烈推覆-隆升事件及沉积响应. *地质论评*, 1998, 44(4): 407—417
- 11 刘少峰, 张金芳, 李忠, 等. 燕山承德地区晚侏罗世盆地充填记录及对盆缘构造作用的指示. *地质学报*, 2004, 11(3): 245—254
- 12 张长厚, 吴鑫国, 徐德斌, 等. 燕山板内造山带中段中生代构造格局与构造演化. *地质通报*, 2004, 23(9-10): 864—875
- 13 张长厚, 张勇, 李海龙. 燕山西段及北京西山晚中生代逆冲构造格局及其地质意义. *地质学报*, 2006, 13(2): 165—183
- 14 赵越, 张拴宏, 徐刚, 等. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件. *地质通报*, 2004, 23(9-10): 854—863
- 15 Davis G A, Zheng Y D, Wang C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, norther China. In: Hendrix M S, Davis G A, eds. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intra-continental Deformation*: Boulder, Colorado: Geological Society of America Memoir, 2001. 171—197
- 16 Niu B G, He Z J, Song B, et al. SHRIMP geochronology of volcanic rocks of the Zhangjiakou and Yixian Formation, Northern Hebei province, with a discussion on the age of the Xing'anling Group of the Great Hinggan mountains and volcanic strata of the South-eastern coastal area of china. *Acta Geol Sin*, 2004, 78 (6): 1214—1228
- 17 Ren J S. *China and adjacent Tectonic map (1:5000000)*. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 3—10
- 18 洪友崇, 萧宗正. 北京延庆县后城组蜚镰目化石(昆虫纲). *北京地质*, 1997, 2: 2—6
- 19 Swisher C C, 汪筱林, 周忠和, 等. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. *科学通报*, 2001, 46(23): 2009—

2013

- 20 杨进辉, 吴福元, 邵济安, 等. 冀北张-宣地区后城组、张家口组火山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素. 地球科学, 2006, 31(1): 71—80
- 21 张宏, 袁洪林, 胡兆初, 等. 冀北滦平地区中生代火山岩地层的锆石 U-Pb 测年及启示. 地球科学, 2005, 30(6): 707—720
- 22 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志. 北京: 地质出版社, 1989. 205—322
- 23 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1989. 227—252
- 24 Andersen T. Correlation of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . Chem Geol, 2002, 192: 59—79[DOI]
- 25 Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation—Inductively coupled plasma mass spectrometry. Geostand Geoanal Res, 2004, 28(3): 353—370[DOI]
- 26 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 2003, 48(14): 1511—1520
- 27 邵济安, 张履桥, 储著银. 冀北早自垩世火山-沉积作用及构造背景. 地质通报, 2003, 22 (6): 384—390
- 28 Zhang H, Wang M X, Liu X W. LA-ICP-MS dating of Zhangjiakou formation volcanic rocks in the Zhangjiakou region and its geological significance. Prog Nat Sci, 2008, 18 (8): 903—909