

张广才岭南部侵入岩锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年代

敖 光

辽宁省地质勘查院 辽宁 大连 116100

摘 要 :张广才岭是中生代花岗质岩浆作用较为发育的地区,但关于该地区花岗岩的形成时代,缺少精确的同位素年龄资料。本文通过“黑龙江 1:5 万大贯屯(L52E023007)等四幅区域地质矿产调查”项目,对工作区内的花岗质岩进行了锆石 U-Pb 同位素测年,结果显示:三叠纪花岗岩形成于 224~229 Ma,侏罗纪侵入岩形成于 202~193 Ma。

关键词 :LA-ICP-MS U-Pb 定年;花岗岩;张广才岭

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.06.004

ZIRCON U-Pb LA-ICP-MA AGE OF THE INTRUSIVE ROCK IN SOUTHERN ZHANGGUANGCAILING AREA

AO Guang

Liaoning Institute of Geological Exploration, Dalian 116100, Liaoning Province, China

Abstract : Mesozoic granitic magmatism is developed in the Zhangguangcailing area. However, accurate isotopic age data is lack for the granite in the area. Based on the 1:50 000 regional geological and mineral resources survey in Heilongjiang Province, the author carries out the zircon U-Pb isotopic dating for the granitic rocks in the area. The results show that the Triassic granite was formed in 224–229 Ma; while the Jurassic intrusive rock is dated as 202–193 Ma.

Key words : U-Pb LA-ICP-MA age; granite; Zhangguangcailing

0 前言

张广才岭位于我国著名的小兴安岭—张广才岭构造岩浆岩带之上。因山高林密,交通不便,该地区大面积分布的侵入岩工作程度相对较低,而区内有关的金属矿产比较发育,深入了解该区中生代花岗岩的年代学格架及其形成的构造背景,成为理解该区地球动力学演化的重要课题。笔者在“黑龙江 1:5 万大贯屯(L52E023007)、三人班(L52E023008)、榆树沟(L52E024007)、白石砬(L52E024008)幅区域地质矿产调查”工作中,对研究区内大面积分布的中生代侵入岩进行了系统的地质工作,开展了锆石 U-Pb 定年研究。

1 区域地质概况

研究区位于小兴安岭—张广才岭岩浆弧南部,出露的主要地质体为中生代中酸性侵入岩、新元古界新兴组浅变质地层和早侏罗世二浪河组火山岩地层。新元古界形成海陆交互相沉积。进入中生代以后,本区岩浆活动强烈,形成了大面积的花岗岩和伴生的火山岩。火山岩主要分布在测区南部的东土山、东大坡和凤凰山上叠式火山喷发盆地。区内的侵入岩大面积分布在测区的中北部。花岗质岩石类型多样,有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩(图 1)。

收稿日期:2015-12-30;修回日期:2016-02-21。编辑:李兰英。

作者简介:敖光(1972—),男,高级工程师,从事区域地质调查工作,通信地址:辽宁省大连市金州区五一路 10 号 703 室, E-mail://daliandky@163.com

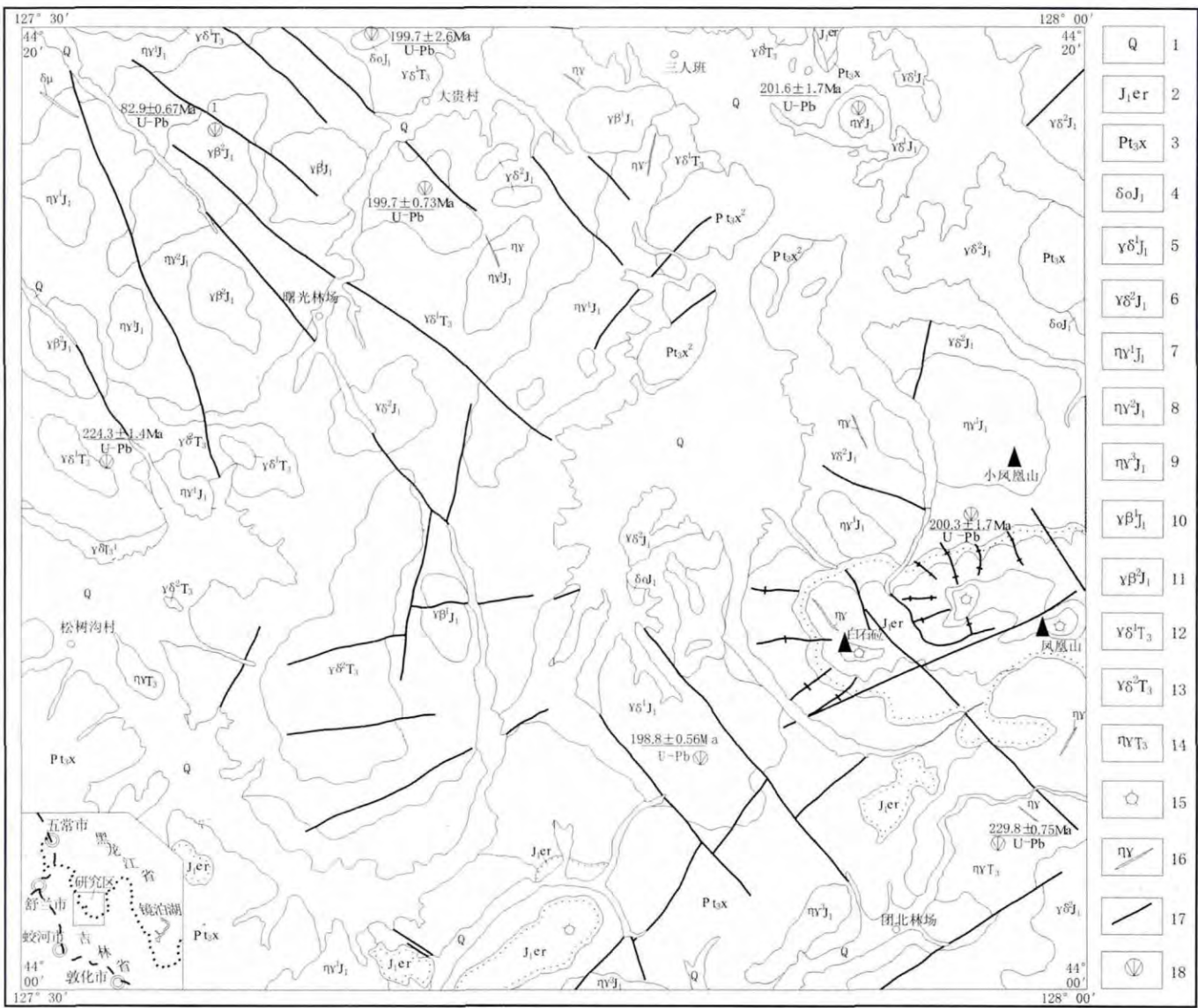


图 1 张广才岭南部地质图

Fig. 1 Geological map of southern Zhangguangcailing area

1—第四系 (Quaternary) 2—二浪河组 (Erlanghe fm.) 3—新兴组 (Xinxing fm.) 4—石英闪长岩 (quartz diorite) 5—细粒花岗闪长岩 (fine grained granodiorite) 6—中细粒花岗闪长岩 (medium-fine grained granodiorite) 7—中细粒二长花岗岩 (medium-fine grained monzogranite) 8—似斑状二长花岗岩 (porphyraceous monzogranite) 9—细粒二长花岗岩 (fine grained monzogranite) 10—中细粒花岗岩 (medium-fine grained granite) 11—似斑状花岗岩 (porphyraceous granite) 12—含斑花岗闪长岩 (phenocryst-bearing granodiorite) 13—似斑状花岗闪长岩 (porphyraceous granodiorite) 14—二长花岗岩 (monzogranite) 15—火山口 (crater) 16—岩脉 (dike) 17—断裂 (fault) 18—同位素取样位置 (isotope sampling position)

2 花岗岩特征

根据岩石类型、接触关系、同位素年龄及区域对比, 确定了测区岩浆岩演化序列及分布特征. 区内存在两个岩浆活动时期: 晚三叠世侵入期和早侏罗世侵入期.

晚三叠世含斑中细粒花岗闪长岩($\gamma\delta^1T_3$)呈岩基

状侵入新元古界新兴组, 岩石浅灰色, 含斑中细粒花岗结构, 块状构造, 具闪长质包体. 似斑状中细粒花岗闪长岩($\gamma\delta^2T_3$)呈岩株状侵入 $\gamma\delta^1T_3$, 岩石浅灰色, 似斑状中细粒花岗结构, 块状构造, 具闪长质包体. 中细粒黑云母二长花岗岩 ($\eta\gamma T_3$) 呈岩株状侵入新元古界新兴组, 岩石浅粉色, 中细粒花岗结构, 块状构造.

早侏罗世石英闪长岩(δoJ_1)呈小岩株状侵入 $\gamma\delta^1T_3$ 岩石灰色,细粒花岗结构,块状构造。细粒花岗闪长岩($\gamma\delta^1J_1$)呈岩株状侵入新元古界新兴组和 $\gamma\delta^1T_3$,岩石较疏松,易风化碎土状,新鲜面为浅灰色,细粒花岗结构,块状构造,具闪长质包体。中细粒花岗闪长岩($\gamma\delta^2J_1$)呈岩基状侵入 $\gamma\delta^1J_1$,岩石浅灰色,中细粒花岗结构,块状构造,具闪长质包体。中细粒二长花岗岩($\eta\gamma^1J_1$)呈岩株状、岩枝状侵入 $\gamma\delta^2J_1$,岩石为浅粉色、肉红色,中细粒花岗结构,块状构造。似斑状中细粒二长花岗岩($\eta\gamma^2J_1$)为小岩基状侵入 $\eta\gamma^1J_1$,岩石为灰粉色,似斑状中细粒花岗结构,块状构造。细粒二长花岗岩($\eta\gamma^3J_1$)为小岩株状侵入 $\gamma\delta^1J_1$,岩石肉红色、浅粉色,细粒花岗结构,块状构造。中细粒花岗岩($\gamma\beta^1J_1$)呈岩株状侵入 $\eta\gamma^2J_1$,岩石灰红色,中细粒花岗结构,块状构造。似斑状中细粒花岗岩($\gamma\beta^2J_1$)呈岩株状侵入 $\eta\gamma^2J_1$,岩石灰红色,似斑状花岗结构,块状构造。

3 锆石 U-Pb 测年方法

以往的区域地质调查工作中,对区内花岗岩类型、时代及成因虽取得了一些成果,但时代依据主要来源于 K-Ar 年代数据,部分为 Rb-Sr 或 U-Pb(全岩)年代数据,缺乏精确的同位素年代资料。本次工作采用锆石激光剥蚀等离子体分析技术(LA-ICP-MS),采用微

区原位单点定年。国内外的研究结果证明,该方法所获得的年龄与 SHRIMP 测试结果完全一致^[1-5]。实验测试在中国地质科学院北京离子探针中心进行。其样品的制备与 SHRIMP 法基本相同。本次实验所采用的激光束斑直径为 30 μm ,普通铅校正采用 T. Anderson (2002) 的方法,其年龄采用 K.R. Ludwig (2003) 的 ISOPLOT 程序计算。详细实验测试过程见文献^[6]。

4 测定结果

晚三叠世:似斑状花岗闪长岩 DP17TW11(坐标 127°32'25" N 44°10'40" E), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 测定结果为 224.3 ± 1.4 Ma,二长花岗岩 DP16TW7(坐标 127°57'32" N 44°03'00" E)测定结果为 229.8 ± 0.75 Ma。

早侏罗世:石英闪长岩 TW7265(坐标 127°40'08" N 44°19'56" E)测定结果为 199.7 ± 2.6 Ma,细粒花岗闪长岩 DP12TW9(坐标 127°42'59" N 44°04'46" E)测定结果为 198.8 ± 0.56 Ma,中细粒花岗闪长岩 TW6098(坐标 127°56'43" N 44°09'52" E)测定结果为 200.3 ± 1.7 Ma,细粒二长花岗岩 TW3049(坐标 127°53'32" N 44°18'19" E)测定结果为 201.6 ± 1.7 Ma,似斑状二长花岗岩 TW6252(坐标 127°41'34" N 44°16'36" E)测定结果为 199.7 ± 0.73 Ma,似斑状花岗岩 DP13TW17(坐标 127°35'21" N 44°17'45" E)测定结果为 182.9 ± 0.67 Ma。

测定数据见表 1,谐和图见图 2。

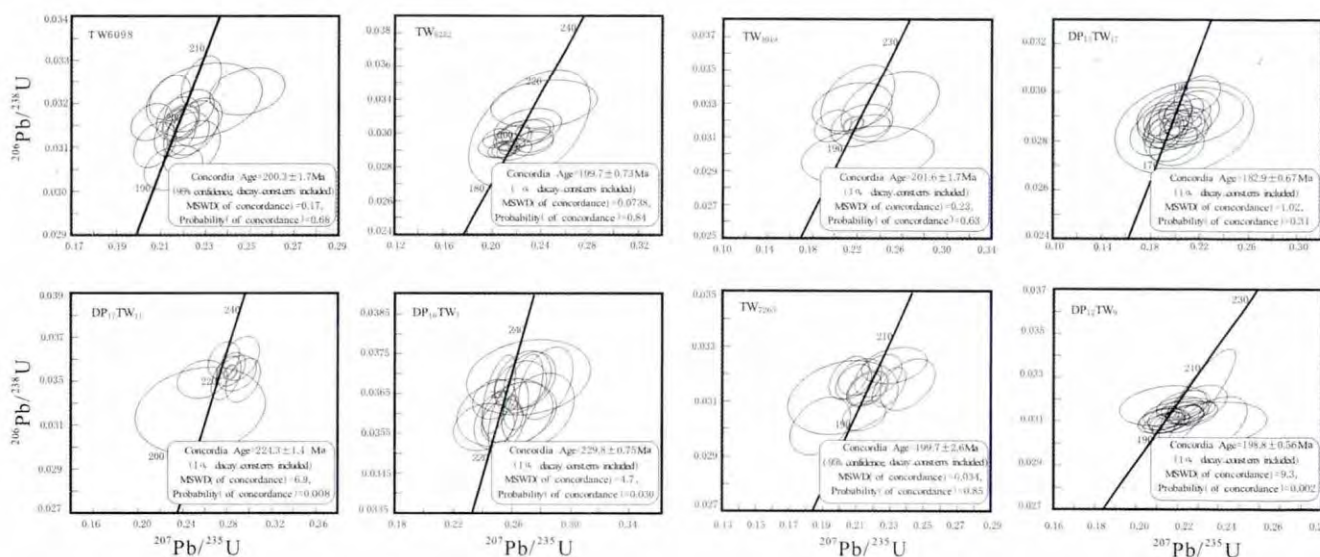


图2 张广才岭南部侵入岩锆石 U-Pb LA-ICP-MS 谐和图

Fig. 2 Concordia diagram of zircon U-Pb LA-ICP-MS for the intrusive rocks in southern Zhangguangcailing area

表 1 张广才岭南部中生代花岗岩锆石 U-Pb (LA-ICP-MS)年龄数据
Table 1 Zircon U-Pb (LA-ICP-MS) ages of the Mesozoic granites in southern Zhangguangcailing area

测点编号	同位素比值						年龄/Ma	
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
DP17TW13-1	0.0505	0.0120	0.2253	0.0484	0.0337	0.0013	213.4	8.1
DP17TW13-2	0.0479	0.0042	0.2270	0.0185	0.0351	0.0006	222.2	3.5
DP17TW13-3	0.0569	0.0031	0.2736	0.0126	0.0350	0.0007	222.0	4.1
DP17TW13-4	0.0550	0.0033	0.2961	0.0165	0.0392	0.0005	248.1	3.4
DP17TW13-5	0.0530	0.0021	0.2600	0.0105	0.0355	0.0005	225.1	3.2
DP17TW13-6	0.0542	0.0027	0.2706	0.0141	0.0360	0.0007	228.2	4.1
DP17TW13-7	0.0540	0.0026	0.2665	0.0147	0.0353	0.0005	223.9	3.4
DP17TW13-8	0.0562	0.0046	0.2992	0.0256	0.0383	0.0008	242.4	5.0
DP17TW13-9	0.0525	0.0020	0.2550	0.0110	0.0352	0.0007	222.7	4.2
DP17TW13-10	0.0508	0.0024	0.2515	0.0116	0.0360	0.0005	227.7	3.4
DP16TW7-1	0.0535	0.0033	0.2639	0.0155	0.0360	0.0005	227.9	3.4
DP16TW7-2	0.0524	0.0021	0.2579	0.0093	0.0359	0.0006	227.4	3.9
DP16TW7-3	0.0517	0.0045	0.2564	0.0224	0.0360	0.0006	228.0	3.6
DP16TW7-4	0.0514	0.0020	0.2536	0.0094	0.0358	0.0004	226.9	2.2
DP16TW7-5	0.0558	0.0032	0.2779	0.0159	0.0361	0.0006	228.4	3.9
DP16TW7-6	0.0545	0.0025	0.2756	0.0137	0.0365	0.0004	231.2	2.7
DP16TW7-7	0.0540	0.0059	0.2714	0.0279	0.0369	0.0006	233.6	3.9
DP16TW7-8	0.0504	0.0020	0.2491	0.0098	0.0358	0.0005	227.0	2.9
DP16TW7-9	0.0500	0.0013	0.2514	0.0076	0.0365	0.0007	230.9	4.0
DP16TW7-10	0.0524	0.0022	0.2676	0.0128	0.0368	0.0005	232.8	3.2
DP16TW7-11	0.0493	0.0030	0.2409	0.0138	0.0356	0.0004	225.7	2.4
DP16TW7-12	0.0535	0.0023	0.2720	0.0118	0.0368	0.0005	233.3	2.8
DP16TW7-13	0.0525	0.0024	0.2658	0.0119	0.0367	0.0004	232.4	2.4
DP16TW7-14	0.0494	0.0019	0.2476	0.0094	0.0364	0.0003	230.2	2.1
DP16TW7-15	0.0533	0.0017	0.2678	0.0090	0.0365	0.0006	231.3	3.8
DP16TW7-16	0.0558	0.0023	0.2831	0.0120	0.0368	0.0006	232.7	3.8
TW7265-1	0.0555	0.0028	0.2407	0.0109	0.0316	0.0006	200.6	3.9
TW7265-2	0.0522	0.0029	0.2326	0.0128	0.0323	0.0004	204.8	2.7
TW7265-3	0.0480	0.0017	0.2088	0.0072	0.0317	0.0004	201.2	2.6
TW7265-4	0.0498	0.0016	0.2146	0.0066	0.0314	0.0004	199.6	2.6
TW7265-5	0.0512	0.0020	0.2148	0.0084	0.0304	0.0004	193.3	2.3
TW7265-6	0.0466	0.0045	0.2019	0.0217	0.0311	0.0009	197.6	5.6
TW7265-7	0.0472	0.0019	0.2058	0.0080	0.0318	0.0005	202.1	3.2
TW7265-8	0.0458	0.0031	0.1887	0.0122	0.0301	0.0007	191.1	4.3
TW7265-9	0.0531	0.0015	0.2298	0.0065	0.0315	0.0005	200.1	3.0
TW7265-10	0.0484	0.0019	0.2124	0.0085	0.0319	0.0004	202.2	2.7
TW7265-11	0.0508	0.0020	0.2233	0.0093	0.0319	0.0005	202.6	3.2
DP12TW9-1	0.0489	0.0034	0.2135	0.0140	0.0317	0.0006	201.3	3.8
DP12TW9-2	0.0505	0.0022	0.2175	0.0091	0.0313	0.0004	198.7	2.4
DP12TW9-3	0.0520	0.0016	0.2225	0.0068	0.0311	0.0004	197.6	2.6
DP12TW9-4	0.0518	0.0019	0.2242	0.0078	0.0316	0.0003	200.5	2.0
DP12TW9-5	0.0497	0.0012	0.2140	0.0054	0.0312	0.0003	197.8	2.2
DP12TW9-6	0.0567	0.0053	0.2356	0.0184	0.0309	0.0007	196.0	4.2

表 1(续 1) Table 1 (Continued 1)

测点编号	同位素比值						年龄/Ma	
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
DP12TW9-7	0.0528	0.0012	0.2304	0.0054	0.0316	0.0003	200.4	1.6
DP12TW9-8	0.0507	0.0018	0.2214	0.0077	0.0317	0.0003	201.0	1.9
DP12TW9-9	0.0496	0.0017	0.2130	0.0073	0.0311	0.0003	197.5	2.1
DP12TW9-10	0.0497	0.0013	0.2114	0.0051	0.0309	0.0003	196.1	1.8
DP12TW9-11	0.0531	0.0015	0.2300	0.0066	0.0314	0.0004	199.1	2.2
DP12TW9-12	0.0502	0.0020	0.2137	0.0083	0.0310	0.0004	196.8	2.2
DP12TW9-13	0.0504	0.0014	0.2152	0.0057	0.0309	0.0003	196.5	1.9
DP12TW9-14	0.0543	0.0030	0.2294	0.0124	0.0320	0.0015	203.2	9.4
DP12TW9-15	0.0517	0.0023	0.2229	0.0087	0.0317	0.0004	201.4	2.8
DP12TW9-16	0.0518	0.0016	0.2249	0.0071	0.0314	0.0003	199.4	2.2
DP12TW9-17	0.0554	0.0030	0.2341	0.0127	0.0307	0.0009	195.0	5.9
DP12TW9-18	0.0523	0.0021	0.2298	0.0096	0.0318	0.0006	201.5	3.6
TW6098-1	0.0523	0.0013	0.2164	0.0056	0.0300	0.0003	190.5	2.1
TW6098-2	0.0503	0.0012	0.2116	0.0054	0.0305	0.0003	194.0	2.1
TW6098-3	0.0503	0.0015	0.2164	0.0062	0.0313	0.0004	198.8	2.2
TW6098-4	0.0517	0.0016	0.2244	0.0077	0.0314	0.0004	199.5	2.6
TW6098-5	0.0515	0.0016	0.2213	0.0068	0.0313	0.0003	198.5	2.2
TW6098-6	0.0524	0.0017	0.2264	0.0073	0.0316	0.0004	200.4	2.2
TW6098-7	0.0515	0.0037	0.2291	0.0172	0.0321	0.0006	203.6	3.5
TW6098-8	0.0530	0.0022	0.2239	0.0085	0.0310	0.0004	196.5	2.7
TW6098-9	0.0486	0.0015	0.2073	0.0064	0.0310	0.0003	197.1	2.1
TW6098-10	0.0498	0.0014	0.2172	0.0063	0.0317	0.0003	200.9	2.0
TW6098-11	0.0484	0.0014	0.2139	0.0061	0.0321	0.0003	203.9	2.1
TW6098-12	0.0509	0.0019	0.2155	0.0088	0.0305	0.0003	193.9	2.0
TW6098-13	0.0510	0.0017	0.2228	0.0075	0.0318	0.0003	202.0	2.0
TW6098-14	0.0565	0.0028	0.2485	0.0111	0.0323	0.0004	204.9	2.2
TW6098-15	0.0473	0.0013	0.2057	0.0060	0.0316	0.0003	200.3	1.7
TW6098-16	0.0508	0.0012	0.2282	0.0060	0.0325	0.0004	206.2	2.4
TW6252-1	0.0524	0.0079	0.2310	0.0335	0.0323	0.0022	204.9	14.0
TW6252-2	0.0513	0.0028	0.2275	0.0133	0.0320	0.0005	203.1	3.3
TW6252-3	0.0503	0.0026	0.2166	0.0102	0.0317	0.0005	201.3	3.2
TW6252-4	0.0523	0.0063	0.2425	0.0290	0.0337	0.0009	213.8	5.8
TW6252-5	0.0484	0.0031	0.2077	0.0125	0.0313	0.0005	198.5	3.0
TW6252-6	0.0469	0.0018	0.2039	0.0075	0.0317	0.0004	201.4	2.3
TW6252-7	0.0512	0.0023	0.2182	0.0095	0.0311	0.0004	197.1	2.6
TW6252-8	0.0492	0.0017	0.2113	0.0076	0.0311	0.0003	197.2	1.9
TW6252-9	0.0504	0.0023	0.2169	0.0090	0.0318	0.0005	202.1	3.4
TW6252-10	0.0544	0.0031	0.2317	0.0121	0.0314	0.0005	199.1	2.9
TW6252-11	0.0500	0.0015	0.2146	0.0061	0.0312	0.0003	198.3	2.0
TW6252-12	0.0531	0.0023	0.2347	0.0103	0.0322	0.0004	204.1	2.7
TW6252-13	0.0485	0.0017	0.2087	0.0079	0.0310	0.0004	196.9	2.2
TW6252-14	0.0515	0.0043	0.2291	0.0181	0.0324	0.0007	205.2	4.6
TW6252-15	0.0538	0.0022	0.2350	0.0102	0.0315	0.0004	200.2	2.8
TW3049-1	0.0493	0.0059	0.2204	0.0218	0.0333	0.0014	210.9	8.5

表 1(续 2) Table 1 (Continued 2)

测点编号	同位素比值						年龄/Ma	
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
TW3049-2	0.0530	0.0029	0.2311	0.0118	0.0317	0.0004	201.1	2.5
TW3049-3	0.0571	0.0109	0.2296	0.0393	0.0299	0.0011	190.1	7.2
TW3049-4	0.0472	0.0052	0.2150	0.0234	0.0328	0.0009	207.8	5.9
TW3049-5	0.0512	0.0042	0.2238	0.0184	0.0317	0.0008	201.3	4.9
TW3049-6	0.0453	0.0023	0.1982	0.0112	0.0317	0.0006	201.1	3.8
TW3049-7	0.0561	0.0070	0.2497	0.0287	0.0328	0.0014	208.3	8.6
DP13TW17-1	0.0504	0.0019	0.2025	0.0079	0.0292	0.0003	185.6	1.8
DP13TW17-2	0.0533	0.0033	0.2180	0.0127	0.0299	0.0005	189.8	3.2
DP13TW17-3	0.0531	0.0041	0.2011	0.0147	0.0278	0.0005	176.9	3.4
DP13TW17-4	0.0664	0.0057	0.2565	0.0218	0.0281	0.0007	178.6	4.1
DP13TW17-5	0.0527	0.0092	0.2074	0.0371	0.0285	0.0013	181.5	8.0
DP13TW17-6	0.0499	0.0033	0.1952	0.0121	0.0287	0.0004	182.2	2.6
DP13TW17-7	0.0482	0.0038	0.1852	0.0142	0.0283	0.0006	180.2	3.9
DP13TW17-8	0.0498	0.0029	0.1939	0.0107	0.0284	0.0005	180.7	2.9
DP13TW17-9	0.0718	0.0043	0.2707	0.0157	0.0276	0.0007	175.4	4.3
DP13TW17-10	0.0487	0.0027	0.1885	0.0098	0.0283	0.0004	180.0	2.5
DP13TW17-11	0.0521	0.0039	0.1964	0.0143	0.0280	0.0006	178.1	3.5
DP13TW17-12	0.0537	0.0033	0.2100	0.0125	0.0287	0.0005	182.2	2.9
DP13TW17-13	0.0472	0.0023	0.1880	0.0093	0.0288	0.0004	183.2	2.6
DP13TW17-14	0.0481	0.0035	0.1901	0.0139	0.0288	0.0006	182.9	3.5
DP13TW17-15	0.0761	0.0118	0.3006	0.0438	0.0287	0.0010	182.5	6.1
DP13TW17-16	0.0528	0.0023	0.2138	0.0100	0.0291	0.0004	185.0	2.7
DP13TW17-17	0.0856	0.0112	0.2974	0.0306	0.0279	0.0014	177.3	8.7
DP13TW17-18	0.1004	0.0082	0.3940	0.0297	0.0288	0.0015	182.8	9.2
DP13TW17-19	0.1392	0.0444	0.3831	0.1024	0.0277	0.0017	175.9	10.7
DP13TW17-20	0.0486	0.0028	0.1955	0.0116	0.0290	0.0006	184.4	4.0

5 结论

通过对研究区分布的中生代侵入岩进行系统的研究工作,获得了一批精确的锆石 U-Pb LA-ICP-MS 同位素年龄资料,结果显示三叠纪花岗岩形成于 224~229 Ma,侏罗纪侵入岩形成于 202~193 Ma. 本次获得的年龄代表了太平洋板块向欧亚板块俯冲的时间要稍早于 229 Ma. 该板块活动造成张广才岭地区发生北东向的至少两期幕式造山作用:第一幕板内造山作用发生在 224~229 Ma;第二幕板内造山作用发生在 202~193 Ma.

参考文献:

[1]Ballard J R , Palin J M , Williams I S , et al. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP[J]. Geology 2001 29 (5) 383-386.

[2]Li X H , Liang X R , Sun M , et al. Precise ²⁰⁶Pb/²³⁸U age determination on zircons by laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass spectrometry using continuous linear ablation[J]. Chem Geol , 2001 175(3) 209-219.

[3]Harris A C , Allen C M , Bryan S E , et al. ELA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of regional volcanism hosting the Bajo de la Alumbrera Cu-Au deposit : Implications for porphyry-related mineralization[J]. Mineral Dep 2004 39(1) 46-67.

[4]Jackson S E , Pearson N J , Griffin W L , et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chem Geol , 2004 211(12) : 47-69.

[5]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[J]. Geostand Newsl , 2004 28(3) 353-370.

[6]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年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报 2003 48(14) :1511-1520.