

辽南盖州卧龙泉岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征

刘文彬, 彭游博, 赵 辰, 崔育菴, 杨成会, 温 聪

辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110031

摘 要: 卧龙泉岩体分布于辽宁南部盖州市卧龙泉镇, 岩性主要为似斑状黑云母二长花岗岩, 岩石锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 1888.4 ± 5.3 Ma, 形成时代为古元古代。卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩地球化学特征显示, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 均值为 0.70, 属高钾钙碱性系列; 里特曼指数 σ 平均值为 2.18, 属钙碱系列; 铝饱和指数 A/CNK 平均值为 1.16, 属过铝型; 岩石中稀土元素总量平均值为 299.04×10^{-6} , 稀土元素配分模式右倾, 属具中负铕异常的轻稀土富集、重稀土亏损型, 富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, 具有活动陆缘钙碱性岩系特征, 属于同碰撞科迪勒拉型(I 型)花岗岩, 应与古元古代造山运动造成下地壳加厚熔融有关。

关键词: 卧龙泉岩体; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 辽南地区

LA-ICP-MS ZIRCON U-Pb DATING AND GEOCHEMISTRY OF WOLONGQUAN
INTRUSION IN GAIZHOU, SOUTHERN LIAONING PROVINCE

LIU Wen-bin, PENG You-bo, ZHAO Chen, CUI Yu-song, YANG Cheng-hui, WEN Cong

Liaoning Institute of Geology and Mineral Survey, Shenyang 110031, China

Abstract: The Wolongquan intrusion, distributed in Wolongquan Town, Gaizhou City of southern Liaoning Province, is lithologically composed of mainly porphyritic biotite monzogranite, with the LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 1888.4 ± 5.3 Ma, forming in the Paleoproterozoic. The geochemical characteristics of the rock body show that the average value of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ is 0.70, belonging to high-K calc-alkaline series. The average Rittmann index σ of 2.18 also indicates calc-alkaline series. The A/CNK ratio is averagely 1.16, representing a peraluminous type. The average of total REE content is 299.04×10^{-6} with right-dipping distribution patterns, characterized by moderately negative Eu anomaly with enrichment of LREEs and depletion of HREEs, enriched LILEs and depleted HFSEs, which are the features of active continental margin calc-alkaline series, belonging to the syn-collision I-type Cordillera granite. From the above, it can be inferred that the intrusion should be related to the thickening and melting of the lower crust caused by Paleoproterozoic orogeny.

Key words: Wolongquan intrusion; zircon U-Pb age; geochemistry; southern Liaoning Province

收稿日期: 2018-06-06; 修回日期: 2018-08-13. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局“辽东-吉南成矿带永吉-凤城地区地质矿产调查”项目(编号 DD20160049); “辽宁 1:5 万卧龙泉、李家堡子、万福庄、三道沟幅区域地质矿产调查”项目(编号 DD20160049-7).

作者简介: 刘文彬(1988—), 男, 工程师, 从事区域地质调查与固体矿产勘查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦 25-11 室, E-mail/liuwbin11@126.com

通信作者: 彭游博(1987—), 男, 硕士, 从事区域地质调查与固体矿产勘查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦 25-11 室, E-mail/pyblnddy@163.com

0 引言

卧龙泉岩体主要出露在辽宁省盖州市卧龙泉到太平庄一带,岩性主要为似斑状黑云母二长花岗岩.任仲元曾测得其 K-Ar 同位素年龄为 207 Ma^①,认为其时代为三叠纪.路孝平在 2004 年采用 LA-ICP-MS 法获得该岩体的锆石 U-Pb 年龄为 1850 Ma,时代为古元古代,并认为辽南地区古元古代花岗岩主要形成于距今 2160 Ma 和 1850 Ma 两个时期^[1].张朋在 2015 年采用 LA-ICP-MS 法获得其锆石 U-Pb 年龄为 194±1.0 Ma^[2],时代为早侏罗世.关于辽南地区古元古代构造环境存在着几种争论,主要有张裂作用形成的拗拉槽或大陆裂谷^[3],弧-陆或陆-陆碰撞造山带^[1],俯冲带活动大陆边缘弧后盆地^[4].本次对卧龙泉岩体岩石学、地球化学和年代学进行研究,旨在确定岩体的准确年代、分布范围,并结合区域地质资料建立岩浆演化序

列,探讨岩石成因和构造环境.

1 地质背景

研究区位于华北陆块北缘东段,地层主要为古元古代辽河岩群,其上由中元古代的榆树砬子组构成似盖层,似盖层之上由新元古界永宁组的浅变质和未变质沉积岩系构成盖层(图 1).区域应力场强烈的位伸应变和收缩作用,导致不同地质体中产生多级组合的韧性-韧脆性剪切滑脱变形、褶皱变形,并最终导致脆性断裂系统的形成,同时伴生频繁的古元古代及中生代岩浆侵入活动.卧龙泉岩体出露面积约 180 km²,呈不规则岩基状产出,侵入古元古代辽河岩群盖县岩组和古元古代细粒黑云母二长花岗岩中,被后期中细粒黑云母花岗岩侵入.岩体内部有较多古元古代细粒黑云母二长花岗岩和辽河岩群捕虏体.

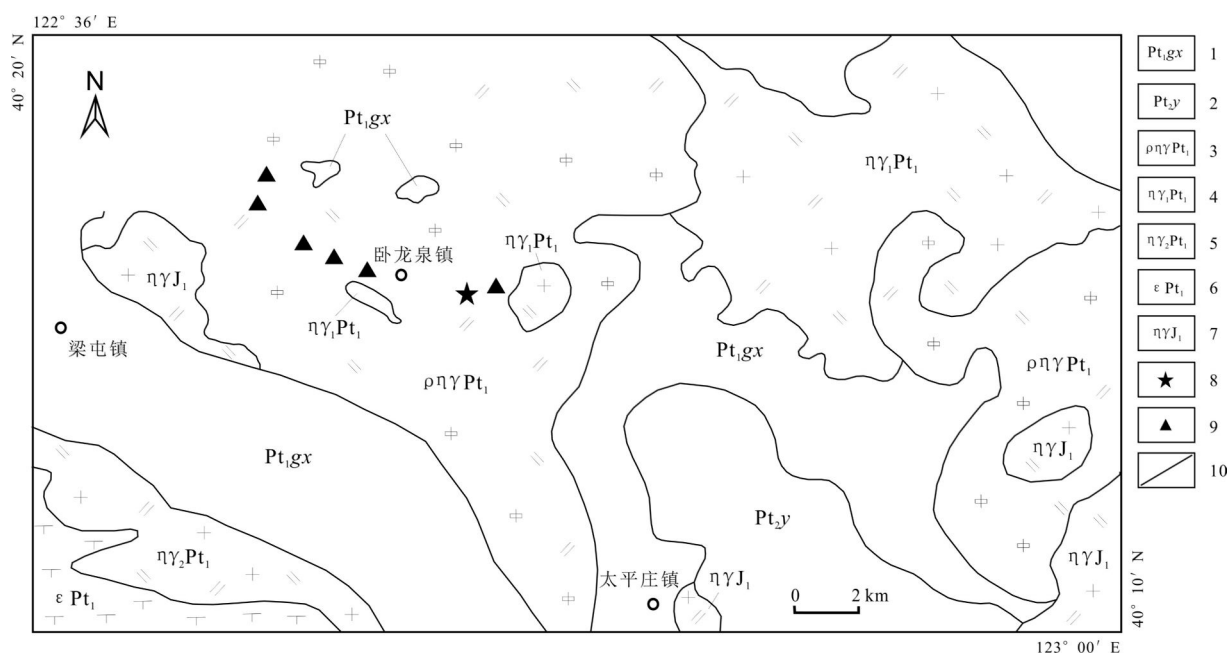


图 1 研究区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

1—早侏罗世中细粒含黑云母二长花岗岩(倪家堡子岩体)(Early Jurassic medium-fine grained biotite-bearing monzogranite, Nijiabuzi rock body); 2—中元古代榆树砬子岩组(Mesoproterozoic Yushulazi rock formation); 3—古元古代似斑状黑云母二长花岗岩(卧龙泉岩体)(Paleoproterozoic porphyritic biotite monzogranite, Wolongquan rock body); 4—古元古代细粒黑云母二长花岗岩(学校后街岩体)(Paleoproterozoic fine-grained biotite monzogranite, Xuexiaohoujie rock body); 5—古元古代中细粒黑云母二长花岗岩(坎子岩体)(Paleoproterozoic medium-fine grained biotite monzogranite, Kanzi rock body); 6—古元古代角闪正长岩(梁屯岩体)(Paleoproterozoic hornblende syenite, Liangtun rock body); 7—古元古代盖县岩组片岩(schist of Gaixian rock formation, Paleoproterozoic); 8—测年样采样位置(sampling position for age test); 9—地球化学样品采样位置(sampling position for geochemical test); 10—地质界线(geological boundary)

①辽宁省地质矿产局. 1:5 万楞式堡等四幅区域地质调查报告. 1992.

2 样品特征

本次共采集 6 件岩石地球化学样品和 1 件测年样品,岩性均为似斑状黑云母二长花岗岩,岩石新鲜,蚀变微弱,具有代表性. 6 件岩石地球化学样品分别采自岩体不同部位(图 1). 年龄样品(RZ10)采自卧龙泉岩体中心(图 1),地理坐标为北纬 $40^{\circ}15'55''$ 、东经 $122^{\circ}45'27''$.

似斑状黑云母二长花岗岩呈灰色,似斑状结构,基质为中粒花岗结构,块状构造(图 2). 斑晶主要为钾长石,呈近半自形板状,主要为微斜长石,杂乱分布,粒度一般为 $5\sim 15\text{ mm}$,含量 $5\%\sim 10\%$. 基质主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成. 斜长石呈近半自形板状,粒度一般为 $2.0\text{ mm}\times 2.0\text{ mm}$,少部分为 $1.0\text{ mm}\times 2.0\text{ mm}$ 的细粒,杂乱分布,含量约 40% . 晶体细粒化明显,主要具黏土化、绢云母化,零星可见碳酸盐化、白云母化、雏晶黑云母化. 与钾长石接触部位可见交代蠕虫结构,部分隐约可见环带结构,聚片双晶发育. 钾长石

呈近半自形板状,主要为微斜长石,晶内微斜格子双晶发育,粒度一般为 $2.0\text{ mm}\times 4.0\text{ mm}$,杂乱分布,含量 $20\%\sim 25\%$. 具轻微高岭土化,晶体边缘多具细粒化,部分晶体整体细粒化. 集合体隐约可见板状外形,多见穿晶裂隙,后多被微粒状长英质填充愈合,部分粒内嵌布半自形板状斜长石. 石英呈他形粒状,多以细粒化石英集合体状分布,细粒化石英颗粒间多呈缝合线状接触,粒内具强波状、带状消光,含量 $20\%\sim 25\%$. 黑云母呈鳞片状,片径大小为 $0.01\sim 2.0\text{ mm}$,个别大于 2.0 mm ,局部具绿泥石化、碳酸盐化,颗粒多具细粒化,杂乱分布,含量约为 10% . 副矿物主要为磷灰石、褐帘石、锆石.

3 测试方法

地球化学样品分析由国土资源部沈阳矿产资源监督检测中心测试完成. 常量元素采用天平、滴定管、原子吸收分光光度计等分析,稀土和微量元素的分析采

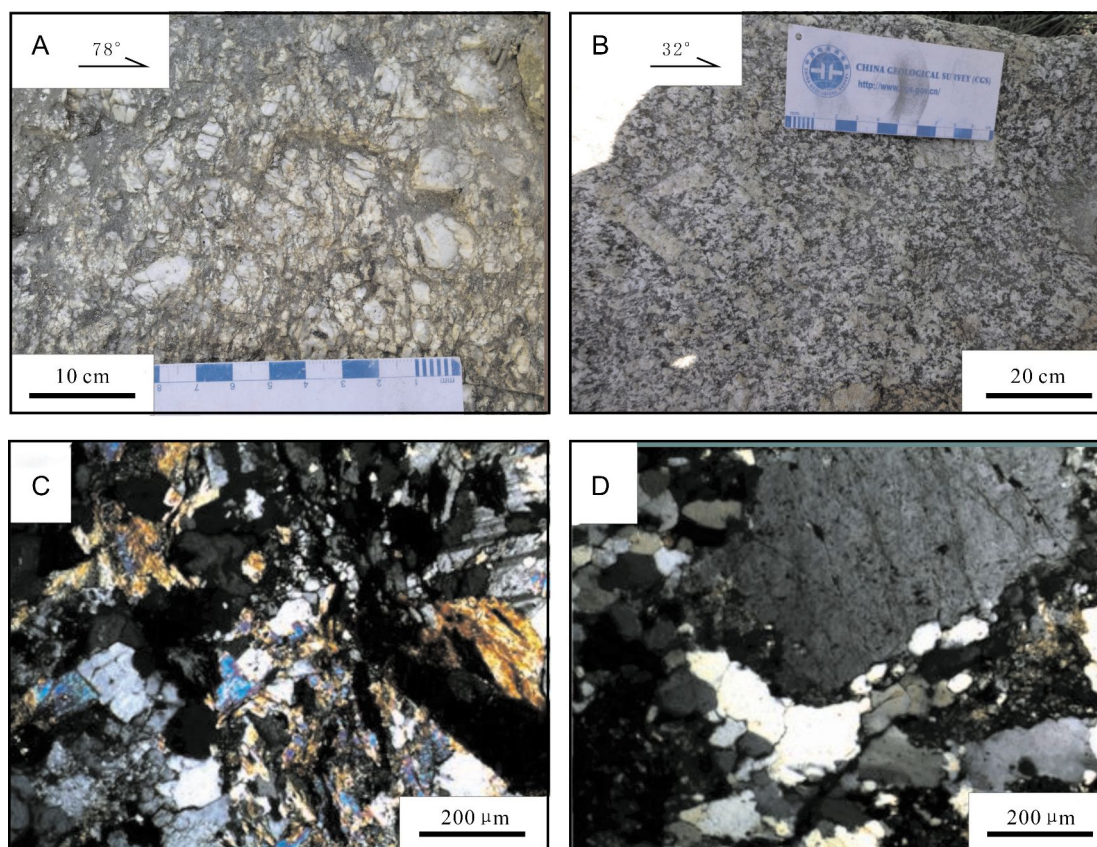


图 2 卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩

Fig. 2 Wolongquan porphyritic biotite monzogranite

A、B—野外产状(field occurrence); C、D—显微照片(microphotographs)

用等离子体质谱仪完成。

测年样品单矿物的分选由河北省区域地质调查研究院地质实验室完成, 锆石样品靶制备和阴极发光图像的拍摄由南京宏创地质勘查技术服务公司完成, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析测试在北京燕都中实测试技术公司完成。

激光剥蚀系统为 New Wave UP213, ICP-MS 为布鲁克 M90。激光剥蚀过程中采用氦气作载气, 氩气为补偿气以调节灵敏度, 二者在进入 ICP 之前通过一个匀化混合器混合。每个样品点分辨包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 和 Plesovice 作为外标进行同位素分馏校正, 对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal 完成^[5-6]。

RZ10 样品锆石呈褐粉色, 弱金刚光泽, 透明一半透明, 个别可见固相包体, 粒径 0.02 mm×0.20 mm 为主, 少数 0.20 mm×0.50 mm, 长宽比多为 1.2~3, 自形一半自形双锥柱状、断柱状, 部分轻微水花, 晶面裂纹较发育, 晶棱、晶锥略显钝化, 个别可见锥柱不对称的歪晶, 本样品中锆石颜色单一, 晶群集中, 改造程度相近, 为同源产物(图 3)。

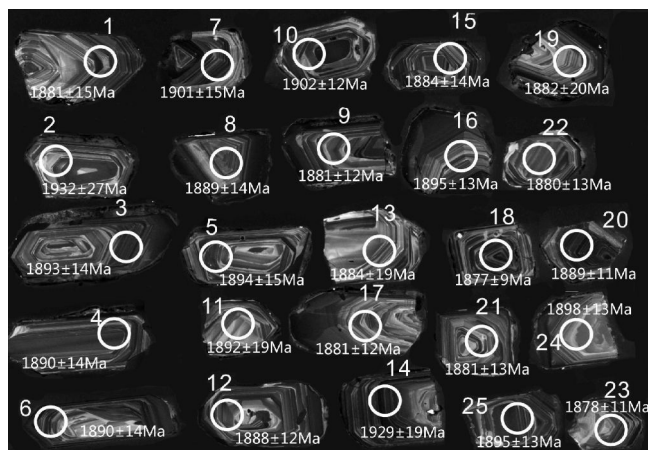


图 3 RZ10 样品锆石阴极发光图像及 LA-ICP-MS 测点位置

Fig. 3 Zircon CL images and LA-ICP-MS test points of sample RZ10

因为岩石年龄较老, 本次工作测试的是锆石核部, 代表岩浆早期结晶的产物, 或为早期岩浆锆石的残余。

而并没有选择对锆石的震荡环带或扇形分带处进行测试, 因为震荡环带代表其后期动力变质年龄, 可能会对分析结果造成一定的影响^[7]。

4 样品测年结果

4.1 年代学特征

25 颗锆石测试结果如表 1。锆石 U、Th 含量分别为 $330 \times 10^{-6} \sim 3505 \times 10^{-6}$ 、 $84 \times 10^{-6} \sim 926 \times 10^{-6}$, Th/U 值 1.57~4.67。25 个测试点数据均落在 U-Pb 一致线上或在 U-Pb 一致线附近很小范围内, 数据点分布集中(图 4)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 1844.2~1944.9 Ma, 加权平均年龄为 1888.4 ± 5.3 Ma (MSWD=0.53, $n=25$)。该年龄代表卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩的岩浆侵位结晶年龄, 为古元古代。

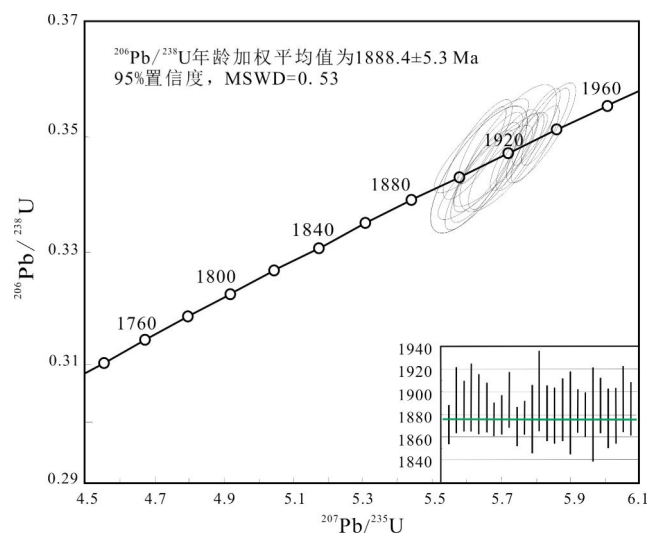


图 4 RZ10 样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons from sample RZ10

4.2 岩石地球化学特征

卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩共分析 6 件地球化学样品, 分析结果见表 2。其 SiO_2 含量为 66.76%~75.54%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为 6.92%~8.69%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 0.51~0.86。里特曼指数 σ 平均值为 2.18, 属钙碱系列, 铝饱和指数 A/CNK 平均值为 1.16, 属过铝型; 岩浆分异指数 DI 平均值为 87.36, 表明岩浆分异程度较高。在 SiO_2 - K_2O 图解中大部分样品落于高钾钙碱性系列(图 5)。

表 1 RZ10 样品锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Th-Pb isotopic analysis results of sample RZ10

点号	Pb/10 ⁻⁶	²³² Th/10 ⁻⁶	²³⁸ U/10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值				同位素年龄值/Ma											
					²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ						
RRZ10-01	34.4	351	722	2.05	0.1151	0.0010	5.5966	0.0595	0.3520	0.0022	0.0977	0.0009	1881.4	15.5	1915.6	9.2	1944.3	10.6	1884.3	15.7
RRZ10-02	17.3	175	418	2.39	0.1184	0.0018	5.4921	0.0717	0.3364	0.0029	0.1011	0.0016	1931.8	26.8	1899.4	11.2	1869.5	13.8	1946.0	28.9
RRZ10-03	21.6	214	702	3.28	0.1159	0.0009	5.6059	0.0555	0.3504	0.0022	0.0986	0.0009	1893.2	14.0	1917.0	8.5	1936.6	10.4	1900.3	16.9
RRZ10-04	46.5	480	754	1.57	0.1156	0.0009	5.5360	0.0521	0.3464	0.0020	0.0965	0.0009	1889.9	14.1	1906.2	8.1	1917.2	9.5	1862.2	16.6
RRZ10-05	12.1	125	359	2.86	0.1159	0.0009	5.5512	0.0512	0.3468	0.0021	0.0956	0.0010	1893.7	14.7	1908.6	7.9	1919.5	9.9	1845.8	18.6
RRZ10-06	19.0	191	392	2.05	0.1157	0.0009	5.5421	0.0538	0.3467	0.0024	0.0989	0.0012	1890.4	14.0	1907.1	8.4	1918.7	11.3	1906.3	22.1
RRZ10-07	23.9	241	906	3.76	0.1163	0.0009	5.4230	0.0482	0.3370	0.0018	0.0976	0.0013	1900.7	14.6	1888.5	7.6	1872.3	8.8	1883.2	23.3
RRZ10-08	10.7	98	330	3.35	0.1156	0.0009	5.4989	0.0555	0.3449	0.0025	0.1004	0.0024	1889.3	13.7	1900.4	8.7	1910.0	12.1	1934.4	44.3
RRZ10-09	13.7	135	415	3.07	0.1151	0.0008	5.4043	0.0391	0.3400	0.0017	0.0947	0.0017	1881.4	12.1	1885.5	6.2	1886.6	8.3	1828.9	32.3
RRZ10-10	70.0	753	1259	1.67	0.1164	0.0008	5.3345	0.0402	0.3312	0.0017	0.0923	0.0010	1901.9	12.4	1874.4	6.4	1844.3	8.5	1784.8	18.6
RRZ10-11	13.4	143	352	2.46	0.1158	0.0012	5.4758	0.0605	0.3416	0.0028	0.0960	0.0011	1891.8	19.0	1896.8	9.5	1894.2	13.5	1853.1	20.3
RRZ10-12	22.1	217	624	2.87	0.1155	0.0008	5.4486	0.0423	0.3414	0.0021	0.0989	0.0015	1888.2	12.1	1892.5	6.7	1893.3	10.1	1906.6	27.6
RRZ10-13	12.7	113	387	3.43	0.1153	0.0012	5.5559	0.0543	0.3497	0.0024	0.1058	0.0031	1884.2	18.6	1909.3	8.4	1933.1	11.6	2033.5	57.0
RRZ10-14	93.1	926	3505	3.78	0.1182	0.0013	5.1754	0.0558	0.3175	0.0030	0.0960	0.0012	1929.2	19.1	1848.6	9.2	1777.7	14.5	1851.9	22.7
RRZ10-15	27.6	282	658	2.33	0.1153	0.0009	5.4887	0.0586	0.3445	0.0030	0.0996	0.0015	1884.3	13.5	1898.8	9.2	1908.4	14.2	1918.2	27.1
RRZ10-16	14.1	143	453	3.16	0.1160	0.0008	5.4547	0.0440	0.3405	0.0022	0.0963	0.0017	1895.3	12.7	1893.5	6.9	1889.2	10.5	1859.0	31.4
RRZ10-17	22.5	231	642	2.78	0.1151	0.0008	5.4338	0.0451	0.3421	0.0025	0.0950	0.0017	1880.7	12.5	1890.2	7.1	1896.9	12.1	1835.0	31.0
RRZ10-18	22.0	219	828	3.78	0.1148	0.0006	5.5771	0.0470	0.3517	0.0026	0.1014	0.0012	1877.1	9.4	1912.6	7.3	1942.8	12.2	1951.3	22.9
RRZ10-19	8.7	84	274	3.25	0.1151	0.0013	5.4402	0.0471	0.3428	0.0023	0.0964	0.0019	1881.7	20.2	1891.2	7.4	1900.1	10.9	1859.3	35.6
RRZ10-20	28.7	297	1390	4.67	0.1156	0.0007	5.5279	0.0378	0.3465	0.0020	0.0954	0.0014	1888.6	11.2	1904.9	5.9	1917.7	9.7	1841.0	25.1
RRZ10-21	11.6	114	401	3.51	0.1150	0.0008	5.6109	0.0463	0.3532	0.0026	0.0995	0.0015	1880.5	12.5	1917.8	7.1	1950.0	12.4	1917.6	27.1
RRZ10-22	35.5	362	704	1.94	0.1150	0.0008	5.4788	0.0449	0.3448	0.0025	0.0954	0.0014	1880.3	12.8	1897.3	7.0	1909.5	11.8	1842.6	25.4
RRZ10-23	15.0	158	501	3.16	0.1149	0.0007	5.5337	0.0439	0.3490	0.0029	0.0983	0.0013	1878.3	11.4	1905.8	6.8	1929.6	13.9	1894.8	24.3
RRZ10-24	17.4	182	621	3.40	0.1162	0.0008	5.3507	0.0370	0.3335	0.0021	0.0923	0.0011	1898.2	12.9	1877.0	5.9	1855.4	10.2	1785.3	20.4
RRZ10-25	41.6	426	938	2.20	0.1160	0.0008	5.4490	0.0359	0.3400	0.0021	0.0942	0.0011	1895.2	12.7	1892.6	5.6	1886.8	10.2	1820.3	20.2

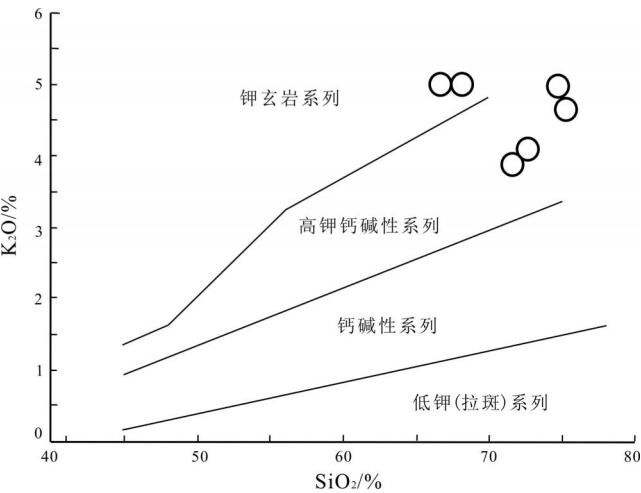


图 5 卧龙泉岩体 SiO₂-K₂O 图解

Fig. 5 The SiO₂-K₂O diagram of the Wolongquan intrusion

卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Th、U, 亏损高场强元素 P、Ta(图 6). 与陆壳元素丰度(黎彤, 1962)相比, 岩石 Rb、Ba、Th、Ce、Zr、Hf、Sm 含量较高, 其余元素较低. 岩石 Rb/Sr 为 1.25, 高于陆壳值. Nb/Ta 为 9.83, 介于陆壳与洋壳值之间. Ba/Sr 为 2.23, K/Rb 为 189.21, 具有壳源特征.

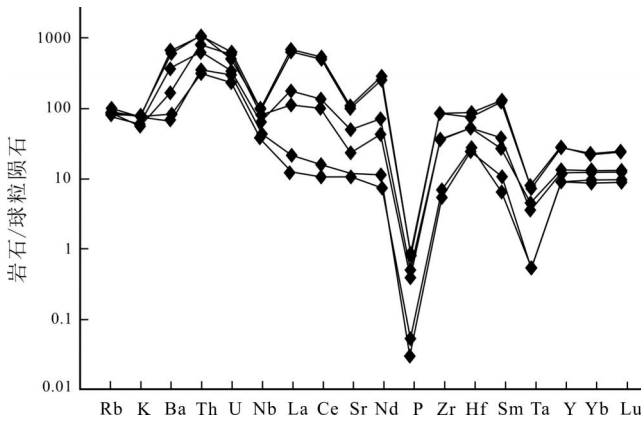


图 6 卧龙泉岩体微量元素球粒陨石标准化蛛网图

Fig. 6 Chondrite-normalized trace element spidergram of the Wolongquan intrusion

岩石 Σ REE 平均值为 299.04×10^{-6} , LREE/HREE=10.5, $La_N/Yb_N=14.26$, 轻稀土相对较富集, 重稀土相对亏损. $(La/Sm)_N=11.69$, $(Gd/Yb)_N=2.25$, 轻稀土分馏较强, 而重稀土分馏较弱. $\delta Eu=0.66$, 岩浆具地壳部分熔融成因特征. $Sm/Nd=0.17$, 也显示出二长花岗岩具有壳源性质. 稀土配分曲线呈右倾(图 7), 铕异常不明显, 为弱负铕异常不明显的轻稀土富集重稀土亏损型.

表 2 卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩常量元素、微量元素分析结果

Table 2 Analysis results of major and trace elements of the Wolongquan porphyritic biotite monzogranite

样品号	PM03-TY1	PM03-TY2	PM04-TY4	PM04-TY5	PM04-TY6	PM08-TY1
SiO ₂	75.54	74.94	68.26	66.76	71.82	72.62
TiO ₂	0.04	0.04	0.59	0.63	0.34	0.31
Al ₂ O ₃	13.85	13.90	14.36	14.45	14.08	13.98
Fe ₂ O ₃	0.34	0.32	1.07	1.42	2.04	1.56
FeO	0.16	0.16	3.57	3.35	1.00	1.07
MnO	0.03	0.03	0.09	0.09	0.09	0.06
MgO	0.23	0.21	1.22	1.17	0.54	0.60
CaO	0.16	0.17	1.96	1.91	0.79	1.32
Na ₂ O	4.04	3.67	2.71	2.63	3.03	3.39
K ₂ O	4.65	4.97	5.13	5.15	3.89	4.09
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.24	0.24	0.12	0.14
Rb	208.00	233.00	196.00	196.00	205.00	189.00
Th	9.31	10.40	31.80	31.70	23.50	18.40
U	1.89	2.42	5.23	4.25	4.85	2.76
Nb	9.44	11.00	23.90	24.00	20.70	17.30
Sr	78.90	88.40	811.00	752.00	171.00	361.00
Nd	3.53	5.43	131.00	122.00	20.20	33.30
P	68.57	36.86	1028.57	1028.57	514.29	600.00
Zr	27.70	21.60	339.00	339.00	146.00	147.00
Hf	2.94	2.59	9.21	8.16	5.63	5.76
La	3.00	5.30	164.00	152.00	26.60	42.30
Ce	6.45	9.78	337.00	313.00	62.20	84.80
Pr	0.91	1.50	39.00	38.40	5.84	9.47
Nd	3.53	5.43	131.00	122.00	20.20	33.30
Sm	1.01	1.67	20.30	19.10	4.19	5.82
Eu	0.34	0.39	2.61	2.62	0.74	1.42
Gd	1.13	1.51	15.40	15.00	3.61	4.71
Tb	0.27	0.35	2.09	2.06	0.62	0.71
Dy	2.01	2.06	8.99	8.75	3.63	3.19
Ho	0.43	0.50	1.64	1.65	0.65	0.63
Er	1.39	1.47	4.42	4.46	2.00	1.77
Tm	0.25	0.23	0.66	0.61	0.30	0.30
Yb	1.52	1.60	4.06	3.85	2.25	1.90
Lu	0.23	0.25	0.64	0.61	0.33	0.30
Y	14.10	14.80	44.20	44.00	21.10	18.40
Σ REE	22.47	32.04	731.81	684.11	133.16	190.62
La_N/Yb_N	1.42	2.38	28.97	28.32	8.48	15.97
Sm/Nd	15.87	13.48	25.26	24.16	15.70	11.94
δEu	0.97	0.74	0.43	0.46	0.57	0.80
A/CNK	1.157	1.185	1.058	1.08	1.324	1.127
σ_{43}	2.31	2.33	2.42	2.51	1.64	1.88

含量单位: 常量元素为%, 微量元素为 10⁻⁶.

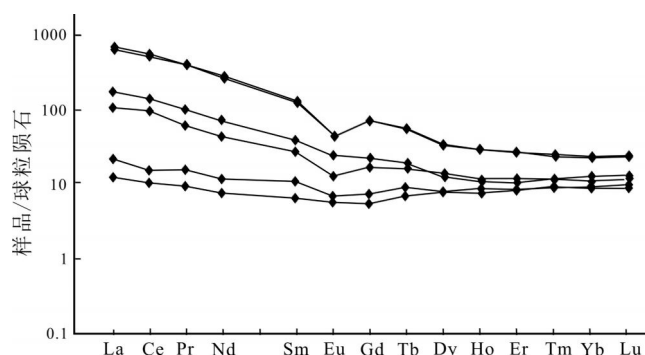


图7 卧龙泉岩体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of the Wolongquan intrusion

5 讨论

5.1 岩体形成时代

卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩的同位素锆石 U-Pb 年龄为 1888.4 ± 5.3 Ma. 年龄样品中的锆石颜色单一,晶群集中,改造程度相近,应为同源产物. 测试点位均为锆石核部,测试点数据均落在 U-Pb 一致线上或在 U-Pb 一致线附近很小范围内,所测得的数据应代表了岩浆侵位结晶的时代. 分析结果表明,卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩的形成时代应为古元古代.

本次工作将原卧龙泉岩体分为4种岩性,分别为卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩、坎子细粒二长花岗岩、学校后街中细粒黑云母二长花岗岩、倪家堡子中细粒含黑云母二长花岗岩,同位素年龄分别为 1888.4 ± 5.3 Ma、 1900 ± 2.3 Ma、 1887.2 ± 5.4 Ma、 181.9 ± 1.1 Ma(作者待发表资料),年代为古元古代及早侏罗世. 坎子岩体、学校后街岩体为古元古代造山期形成,倪家堡子岩体与猫岭及卧龙泉金矿成矿密切相关.

前文提到任仲元所测年龄结果受测试方法及手段所限,年龄会有一定的误差;路孝平 2004 年所测年龄与本次工作相近. 张朋在 2015 年所测年龄并非本次划分的卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩,而是本次解体出的倪家堡子中细粒含黑云母二长花岗岩,所以所测年龄为早侏罗世.

5.2 岩石成因及构造环境

本研究将原定于三叠纪卧龙泉岩体重新厘定为古元古代,主要岩性为似斑状黑云母二长花岗岩. 这说明在辽南辽河岩群沉积后存在一次造山活动,结合早

期形成的条痕状花岗岩侵位年龄 2160 Ma^[1],可以看出辽南地区在大约 2100 Ma 开始接受沉积,形成辽河岩群,在辽河岩群沉积后期,大约 1880 Ma 之前形成了一期完整的造山期—造山晚期的岩浆演化序列,这一序列也确定了辽河岩群沉积结束的时间^[1].

卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩在 A/NK-A/CNK 图解(图 8)中显示其属于过铝质岩石,在 F-A-M 图解(图 9)上样品主要落于 2 区,个别样品落于 2 区与其他区交界处,所以认为其属于活动陆缘科迪勒拉型 I 型花岗岩. 这与野外实际所见花岗岩遭受了不同程度的韧性剪切变形,岩体内多见有辽河岩群的包体相吻合,也间接证实了卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩是在碰撞造山演化过程中,下地壳加厚与上地幔岩浆部分熔融所成.

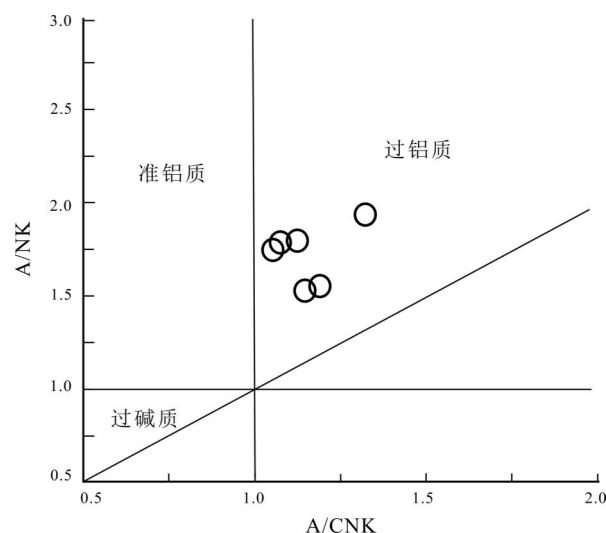


图8 卧龙泉岩体 A/NK-A/CNK 图解

Fig. 8 The A/NK-A/CNK diagram of Wolongquan intrusion

5.3 古元古代区域动力学演化

在 (Y+Nb)-Rb(图 10)及 Yb-Ta(图 11)图解中,样品多数落于火山弧、同碰撞花岗岩区,个别样品落入板内花岗岩区域. 个别样品落入板内花岗岩主要是因为卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩侵入后,有一期梁屯角闪正长岩^[1](晚造山期 A 型碱性岩)侵入,是碰撞后岩浆作用的产物,因此可能会反映出板内造山的特点.

在 R_1 - R_2 图解上,样品落入同碰撞花岗岩区域及其周围(图 12),显示卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩为同碰撞花岗岩,是造山作用过程中应力由挤压开始

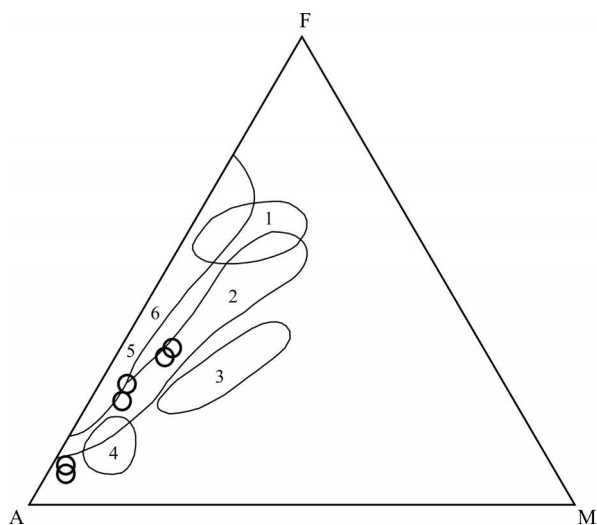


图 9 卧龙泉岩体 F-A-M 图解

Fig. 9 The F-A-M diagram of Wolongquan intrusion

1—塞浦路斯、阿曼大洋碱性花岗岩 (幔源)(oceanic alkali granites of Cyprus and Oman, mantle sourced); 2—I 型科迪勒拉花岗岩 (活动陆缘)(I-type Cordillera granite, active continental margin); 3—I 型加里东花岗岩 (碰撞隆起)(I-type Caledonian granite, collision uplift); 4—澳大利亚二云母堇青石 S 型花岗岩 (壳源同碰撞)(two-mica cordierite S-type granite of Australia, crust source syn-collision); 5—澳大利亚东南褶皱带造山后 A 型花岗岩 (post-orogenic A-type granite in the fold belt of southeastern Australia); 6—尼日利亚非造山 A 型花岗岩 (anorogenic A-type granite of Nigeria)

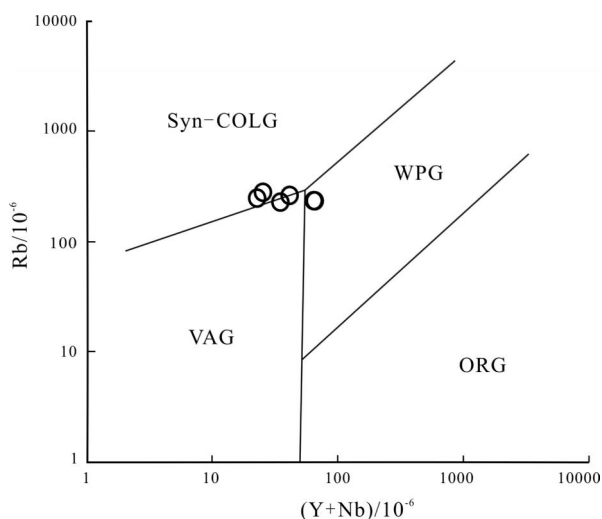


图 10 卧龙泉岩体 (Y+Nb)-Rb 图解

Fig. 10 The (Y+Nb)-Rb diagram of Wolongquan intrusion

VAG—火山弧花岗岩 (volcanic arc granite); WPG—板内花岗岩 (within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩 (ocean ridge granite); Syn-COLG—同碰撞花岗岩 (syn-collision granite)

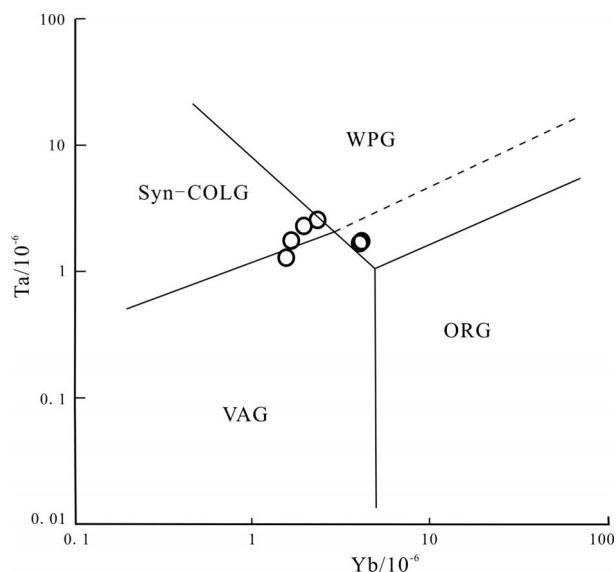
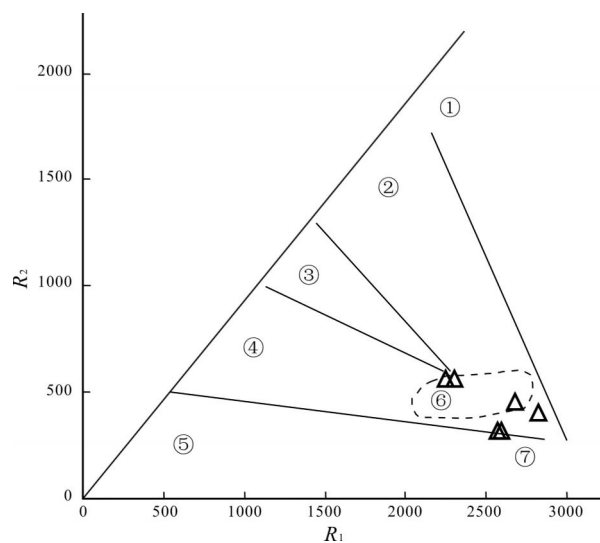


图 11 卧龙泉岩体 Yb-Ta 图解

Fig. 11 The Yb-Ta diagram of Wolongquan intrusion

VAG—火山弧花岗岩 (volcanic arc granite); WPG—板内花岗岩 (within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩 (ocean ridge granite); Syn-COLG—同碰撞花岗岩 (syn-collision granite)

图 12 卧龙泉岩体 R_1 - R_2 图解Fig. 12 The R_1 - R_2 diagram of Wolongquan intrusion

①地幔斜长花岗岩 (mantle plagiogranite); ②破坏性活动板块边缘 (碰撞前) 花岗岩 (destructive active plate margin granite, pre-collision); ③板块碰撞后隆起期花岗岩 (post-collisional uplift granite); ④晚造山区花岗岩 (late orogenic granite); ⑤非造山区 A 型花岗岩 (anorogenic A-type granite); ⑥同碰撞花岗岩 (syn-collisional granite); ⑦造山期后花岗岩 (post-orogenic granite)

向伸展转化的产物. 结合前人研究成果, 笔者认为胶-辽-吉活动带在约 1900 Ma 时由挤压造山开始向伸展

环境转换,到 1880 Ma 左右,造山作用结束。

综上所述,认为在 1800 Ma 该区岩浆侵入活动较为频繁,早期形成同碰撞 I-S 型花岗岩(坎子岩体),中期形成类似于美国西部的科迪勒拉 I 型花岗岩和类似于澳大利亚东南部的拉克兰褶皱带的 S 型二云母堇青石花岗岩,晚期形成后碰撞 A 型花岗岩(梁屯岩体)。这一研究结果,说明该区在辽河岩群沉积结束后,存在一期完整的活动大陆边缘-碰撞造山-后碰撞拉张的构造演化过程。

6 结论

(1)卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 1888.4 ± 5.3 Ma, 时代归属于古元古代。

(2)卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩形成于碰撞造山演化过程中的下地壳加厚与上地幔岩浆部分熔融,属于 I 型活动陆缘科迪勒拉型花岗岩。

(3)卧龙泉似斑状黑云母二长花岗岩为挤压环境产物,后期梁屯岩体的出现标志着在这一时期造山作用应力由挤压开始向伸展转化。

致谢:感谢中国地质调查局沈阳地质调查中心李东涛教授级高级工程师及辽宁省地质矿产调查院各位

领导在野外工作中的指导,感谢野外采样、论文编写和数据处理过程中辽宁省地质矿产调查院同事的协助,感谢审稿专家提出的宝贵修改意见,感谢国土资源部沈阳矿产资源监督检测中心、北京燕都中实公司实验测试人员在岩石样品地球化学、锆石测年数据测试中的帮助。

参考文献:

- [1]路孝平,吴福元,林景仟,等. 辽东半岛南部早前寒武纪花岗质岩浆作用的年代学格架[J]. 地质科学,2004,39(1):123-138.
- [2]张朋,陈冬,寇林林,等. 辽东卧龙泉岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及其构造意义[J]. 地质学报,2015,89(10):1762-1772.
- [3]陈荣度,李显生,张福生. 对辽东古元古代地质若干问题的讨论[J]. 中国地质,2003,30(2):207-213.
- [4]李壮,陈斌,刘经纬,等. 辽东半岛南辽河群锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报,2015,31(6):1589-1605.
- [5]Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [J]. Chem Geol, 2006,234:105-126.
- [6]Chu N C, Taylor R N, Chavagnac V, et al. Hf isotope ratio analysis using multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry: An evaluation of isobaric interference corrections [J]. J Anal At Spectrom, 2002,17:1567-1574.
- [7]李艳广,汪双双,刘民武,等. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用[J]. 地质学报,2015,89(12):2400-2418.