

# 大兴安岭中段扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征

臧延庆<sup>1</sup>, 秦 涛<sup>1,2</sup>, 孙 巍<sup>1</sup>, 马永非<sup>1,2</sup>, 买廷成<sup>1</sup>, 司秋亮<sup>1</sup>, 汪 岩<sup>1</sup>,  
谭红艳<sup>1</sup>

ZANG Yanqing<sup>1</sup>, QIN Tao<sup>1,2</sup>, SUN Wei<sup>1</sup>, MA Yongfei<sup>1,2</sup>, MAI Tingcheng<sup>1</sup>, SI Qiuliang<sup>1</sup>,  
WANG Yan<sup>1</sup>, TAN Hongyan<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061

1. Shenyang Geological Survey Center, CGS, Shenyang 110034, Liaoning, China;

2. College of Geosciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China

**摘要:** 对大兴安岭中段扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩进行了锆石 U-Pb 年龄和地球化学研究。用 LA-ICP-MS 测得流纹质隐爆角砾岩(TW6)和流纹岩(TW14)中锆石的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄分别为 157.2±1.2Ma 和 154.8±1.1Ma, 表明火山岩形成于晚侏罗世。岩石地球化学特征表明, 火山岩富硅碱、贫钙镁, 为过铝质钙碱性系列; (La/Yb)<sub>N</sub>=20.24~22.68, 轻、重稀土元素分馏明显; 球粒陨石标准化稀土元素配分模式图呈右倾形式, Eu 为正异常; 原始地幔标准化蛛网图显示, 大离子亲石元素 Rb、K 相对富集, 高场强元素 Nb、Ti、P 强烈亏损, 显示壳源岩浆的特征。综合本区火山岩的特征并结合他人研究成果, 认为扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩的形成与蒙古-鄂霍次克洋闭合后伸展作用关系密切。

**关键词:** LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 满克头鄂博组; 大兴安岭中段; 扎赉特旗

**中图分类号:** P588.14; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2018)09-1644-08

Zang Y Q, Qin T, Sun W, Ma Y F, Mai T C, Si Q L, Wang Y, Tan H Y. Zircon U-Pb age and geochemistry of volcanic rocks in Manketouebo Formation from Jalaid Banner, central Da Hinggan Mountains. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(9):1644-1651

**Abstract:** Chronologic and geochemical studies of volcanic rocks in Manketouebo Formation from Jalaid Banner area are presented in this paper. The zircon U-Pb dating results show that the ages of rhyolitic breccia (TW6) and rhyolite (TW14) are 157.2±1.2Ma (MSWD=0.33, n=22) and 154.8±1.1Ma (MSWD=0.34, n=28) respectively, indicating that the volcanic rocks were formed in Late Jurassic. Geochemical characteristics indicate that the volcanic rocks are rich in silicon and alkali but poor in calcium and magnesium, and belong to peraluminous calc-alkali series. The chondrite-normalized REE patterns indicate that the volcanic rocks are enriched in light rare earth elements with significant fractionation of HREE and LREE ((La/Yb)<sub>N</sub>=20.24-22.68), and Eu has a positive anomaly. The primitive mantle-normalized trace element spidergram shows that the volcanic rocks contain high LILE (Rb, K) and low HFSE (Nb, Ti, P), suggesting crust magma source. In combination with all the characteristics of the volcanic rocks and other research results, the authors hold that the volcanic rocks in Manketouebo Formation were closely related to the lithosphere extension after the closure of Mongol-Okhotsk Ocean.

**Key words:** LA-ICP-MS zircon U-Pb age; geochemistry; Manketouebo Formation; central Da Hinggan Mountains; Jalaid Banner area

收稿日期: 2018-03-20; 修订日期: 2018-06-27

资助项目: 中国地质调查局项目《内蒙古 1:5 万五家户、孟家沟、莫利根屯、扎赉特旗、巴彦高勒五幅区域地质调查》(编号: DD20160048-03)

作者简介: 臧延庆(1989-), 男, 硕士, 助理工程师, 从事区域地质调查研究工作。E-mail: zangyanqing1989@126.com

大兴安岭地区广泛发育中生代火山岩,是北方造山带规模最大的中生代火山岩带,前人针对大兴安岭中生代火山岩进行了较全面的研究,但由于植被覆盖严重,接触关系不清,地层归属及形成时代为研究的重点和争论的焦点。周其林等<sup>[1]</sup>将大兴安岭地区中生代火山岩分为塔木兰沟组、满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组、龙江组、光华组和甘河组。满克头鄂博组作为大兴安岭中南部大规模火山作用的初始阶段,确定其形成时代具有重要的意义,并可为火山岩地层对比提供依据。近年来获得了一批高精度锆石 U-Pb 同位素年龄数据<sup>[2-7]</sup>,但结果显示满克头鄂博组的年龄跨度非常大。本文在野外工作的基础上,利用 LA-ICP-MS 测试技术对扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩进行 U-Pb 年龄及地球化学研究,探讨其成因及构造背景。

## 1 区域地质背景

研究区位于大兴安岭火山岩带中段,为华北和西伯利亚板块之间古亚洲洋闭合过程中形成的造山带的一部分,在中生代属于滨太平洋地层区大兴安岭-燕山地层分区。西北部属于西伯利亚板块南缘增生带,东南部属于华北板块北缘增生带,主体构造线为北东-北北东向。区内侵入岩时代主要为白垩纪、侏罗纪和石炭纪。岩性主要为黑云母二长花岗岩( $\gamma\beta K_1$ )、闪长岩( $\delta J_3$ )、石英闪长岩( $\delta o C_2$ )等。研究区古生代地层出露较少,而中生代火山岩活动强烈,可分为满克头鄂博组( $J_3mk$ )、玛尼吐组( $J_3mn$ )和白音高老组( $K_1b$ ),满克头鄂博组主要为一套酸性熔岩及碎屑岩为主,玛尼吐组以安山岩为主,白音高老组以流纹岩、英安岩为主(图1)。

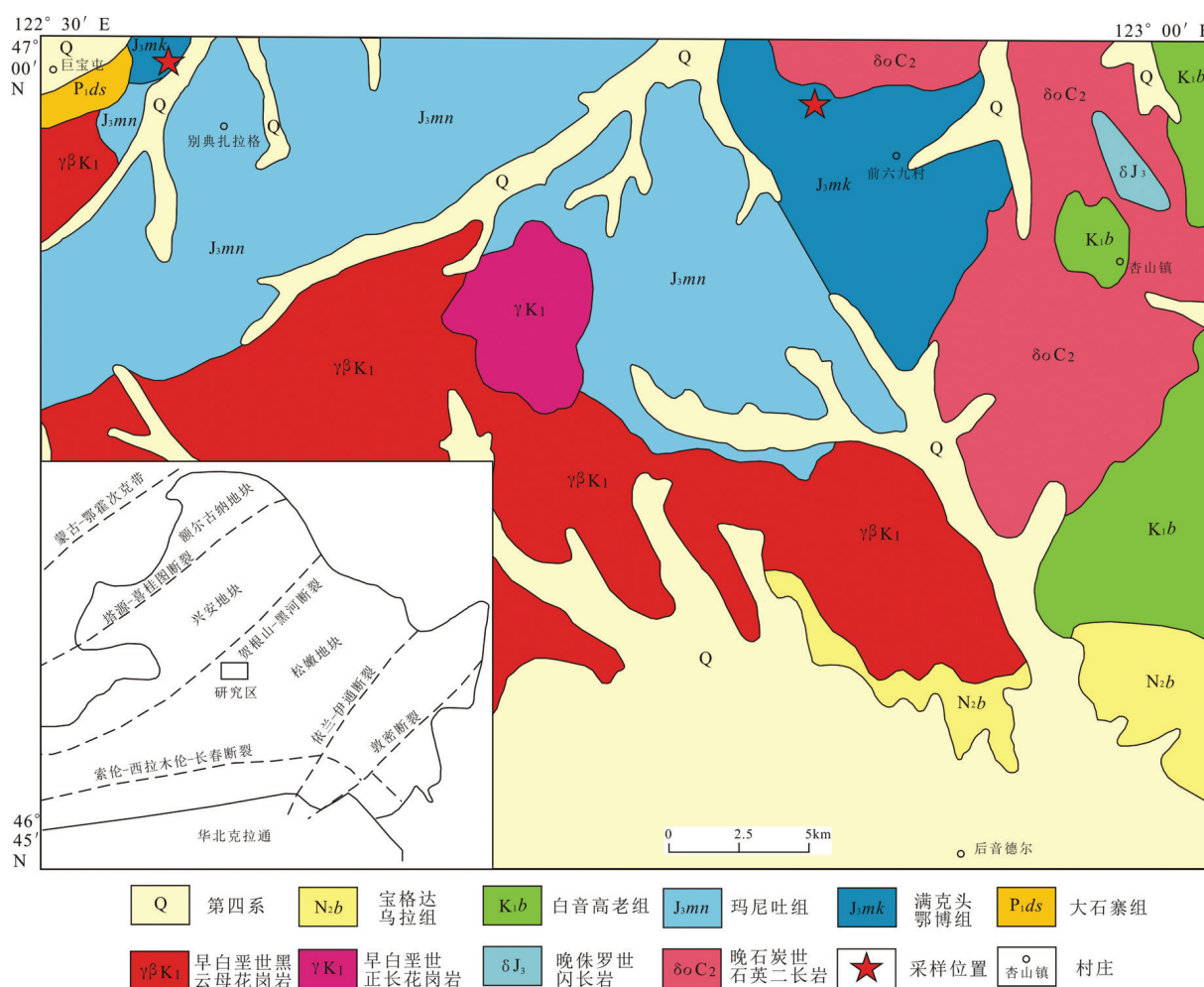


图1 大兴安岭中段扎赉特旗地区地质简图及大地构造位置图

Fig. 1 Simplified geological map and geotectonic map of Jialaid Banner area in central Da Hingan Mountains

本次所采样品均来自满克头鄂博组的火山岩,该组地层岩性主要为流纹质火山岩,采得1件流纹质隐爆角砾岩(TW6)和1件流纹岩(TW14)样品,采样位置分别为北纬 $46^{\circ}59'37''$ 、东经 $122^{\circ}31'28''$ 和北纬 $46^{\circ}59'26''$ 、东经 $122^{\circ}50'43''$ 。

## 2 测试方法及U-Pb年龄

所选锆石来自满克头鄂博组流纹质隐爆角砾岩和流纹岩样品,锆石分选在河北省区域地质矿产研究所实验室完成,制靶和阴极发光(CL)图像采集在北京中兴美科科技有限公司完成,U-Pb同位素测试在中国科学院海洋地质研究所实验室完成。锆石数据分析采用Thermo Element II及配套的New Wave UP213激光剥蚀系统,原始数据用

ICPMSDataCal程序处理<sup>[8-9]</sup>,U-Pb谐和图的绘制利用Isoplot3.0完成<sup>[10]</sup>,测试结果见表1。

本次针对大兴安岭中段2个满克头鄂博组火山岩(TW6、TW14)进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测试,分析结果如图2所示。通过锆石阴极发光图像可以看出,测试锆石的大小多为 $100\sim 130\mu\text{m}$ ,少数可达 $160\mu\text{m}$ ,呈自形-半自形,大部分显示清晰的岩浆成因振荡环带,少量锆石不发光,Th/U值均大于0.1,暗示其为岩浆成因。

TW6样品的22个测试数据位于U-Pb谐和线上及其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $155.2\sim 159.8\text{Ma}$ 之间,加权平均值为 $157.2\pm 1.2\text{Ma}$ (MSWD=0.33)。TW14样品的28个测试数据点位于U-Pb谐和线上及其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $150.1\sim 160.1\text{Ma}$ 之间,

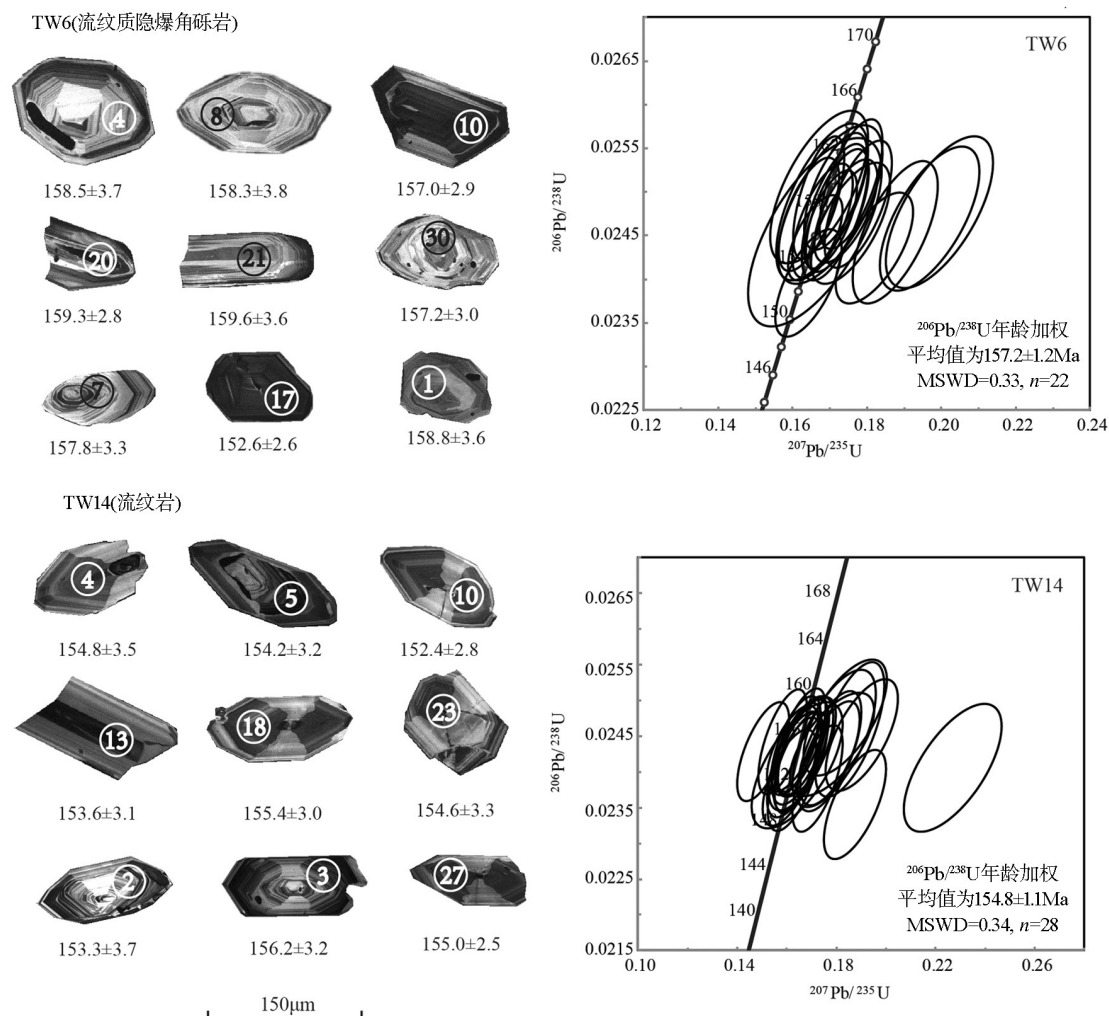


图2 满克头鄂博组火山岩锆石阴极发光图像、年龄值(Ma)及锆石U-Pb谐和图

Fig. 2 Cathodoluminescence images with ages(Ma) and zircon U-Pb concordia diagram of Manketouebo Formation

表 1 扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb data of volcanic rocks of Manketouebo Formation in Jalaid Banner area

| 测试点                                                                                                        | 含量/ $10^{-6}$ |     |     | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |           | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |           | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |           | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |       | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |       | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----|-----|------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
|                                                                                                            | Th            | U   | Pb  |      | 比值                                | $1\sigma$ | 比值                               | $1\sigma$ | 比值                               | $1\sigma$ | 年龄/Ma                             | 误差/Ma | 年龄/Ma                            | 误差/Ma | 年龄/Ma                            | 误差/Ma |
|                                                                                                            |               |     |     |      |                                   |           |                                  |           |                                  |           |                                   |       |                                  |       |                                  |       |
| WJH-TW6(流纹质隐爆角砾岩)样品 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $157.2\pm 1.2\text{Ma}$ (MSWD=0.33, $n=22$ ) |               |     |     |      |                                   |           |                                  |           |                                  |           |                                   |       |                                  |       |                                  |       |
| 1                                                                                                          | 82            | 175 | 9   | 0.47 | 0.0578                            | 0.0029    | 0.1992                           | 0.0095    | 0.0248                           | 0.0006    | 524                               | 109   | 184                              | 8     | 158                              | 4     |
| 2                                                                                                          | 131           | 287 | 13  | 0.46 | 0.0561                            | 0.0022    | 0.1873                           | 0.0075    | 0.0245                           | 0.0005    | 454                               | 85    | 174                              | 6     | 156                              | 3     |
| 3                                                                                                          | 296           | 437 | 25  | 0.68 | 0.0502                            | 0.0015    | 0.1718                           | 0.0056    | 0.0248                           | 0.0005    | 211                               | 101   | 161                              | 5     | 158                              | 3     |
| 4                                                                                                          | 97            | 116 | 7   | 0.83 | 0.0511                            | 0.0029    | 0.1676                           | 0.0082    | 0.0249                           | 0.0006    | 243                               | 131   | 157                              | 7     | 158                              | 4     |
| 5                                                                                                          | 257           | 584 | 26  | 0.44 | 0.0515                            | 0.0015    | 0.1773                           | 0.0059    | 0.0249                           | 0.0005    | 265                               | 69    | 166                              | 5     | 158                              | 3     |
| 6                                                                                                          | 277           | 163 | 22  | 1.69 | 0.1269                            | 0.0115    | 0.5274                           | 0.0619    | 0.0269                           | 0.0008    | 2057                              | 161   | 430                              | 41    | 171                              | 5     |
| 7                                                                                                          | 144           | 291 | 13  | 0.50 | 0.0504                            | 0.0017    | 0.1711                           | 0.0059    | 0.0248                           | 0.0005    | 213                               | 44    | 160                              | 5     | 158                              | 3     |
| 8                                                                                                          | 62            | 120 | 6   | 0.51 | 0.0500                            | 0.0026    | 0.1699                           | 0.0093    | 0.0249                           | 0.0006    | 198                               | 122   | 159                              | 8     | 158                              | 4     |
| 9                                                                                                          | 719           | 372 | 44  | 1.93 | 0.0482                            | 0.0016    | 0.1642                           | 0.0054    | 0.0247                           | 0.0004    | 109                               | 76    | 154                              | 5     | 158                              | 3     |
| 10                                                                                                         | 561           | 300 | 34  | 1.87 | 0.0517                            | 0.0020    | 0.1752                           | 0.0070    | 0.0246                           | 0.0005    | 272                               | 92    | 164                              | 6     | 157                              | 3     |
| 11                                                                                                         | 38            | 336 | 193 | 0.11 | 0.1566                            | 0.0028    | 9.8986                           | 0.2293    | 0.4566                           | 0.0084    | 2420                              | 31    | 2425                             | 21    | 2425                             | 37    |
| 12                                                                                                         | 310           | 342 | 36  | 0.91 | 0.0567                            | 0.0017    | 0.2975                           | 0.0096    | 0.0381                           | 0.0007    | 480                               | 65    | 264                              | 8     | 241                              | 4     |
| 13                                                                                                         | 191           | 839 | 27  | 0.23 | 0.0498                            | 0.0013    | 0.1700                           | 0.0047    | 0.0247                           | 0.0004    | 183                               | 59    | 159                              | 4     | 157                              | 2     |
| 14                                                                                                         | 478           | 950 | 44  | 0.50 | 0.0486                            | 0.0012    | 0.1667                           | 0.0046    | 0.0249                           | 0.0005    | 128                               | 53    | 157                              | 4     | 159                              | 3     |
| 15                                                                                                         | 631           | 347 | 40  | 1.81 | 0.0541                            | 0.0020    | 0.1816                           | 0.0069    | 0.0244                           | 0.0004    | 376                               | 85    | 169                              | 6     | 155                              | 3     |
| 16                                                                                                         | 63            | 110 | 5   | 0.57 | 0.0524                            | 0.0036    | 0.1396                           | 0.0078    | 0.0206                           | 0.0005    | 306                               | 127   | 133                              | 7     | 131                              | 3     |
| 17                                                                                                         | 1013          | 396 | 58  | 2.56 | 0.0496                            | 0.0017    | 0.1639                           | 0.0058    | 0.0240                           | 0.0004    | 189                               | 78    | 154                              | 5     | 153                              | 3     |
| 18                                                                                                         | 314           | 373 | 28  | 0.84 | 0.0932                            | 0.0051    | 0.2823                           | 0.0178    | 0.0216                           | 0.0004    | 1492                              | 104   | 253                              | 14    | 138                              | 2     |
| 19                                                                                                         | 313           | 445 | 25  | 0.70 | 0.0494                            | 0.0015    | 0.1677                           | 0.0053    | 0.0247                           | 0.0004    | 165                               | 68    | 157                              | 5     | 157                              | 3     |
| 20                                                                                                         | 243           | 428 | 21  | 0.57 | 0.0500                            | 0.0016    | 0.1713                           | 0.0055    | 0.0250                           | 0.0004    | 195                               | 106   | 161                              | 5     | 159                              | 3     |
| 21                                                                                                         | 88            | 210 | 9   | 0.42 | 0.0494                            | 0.0026    | 0.1667                           | 0.0087    | 0.0251                           | 0.0006    | 165                               | 126   | 157                              | 8     | 160                              | 4     |
| 22                                                                                                         | 373           | 337 | 51  | 1.11 | 0.0522                            | 0.0014    | 0.3471                           | 0.0091    | 0.0485                           | 0.0007    | 295                               | 68    | 303                              | 7     | 305                              | 5     |
| 23                                                                                                         | 31            | 49  | 6   | 0.63 | 0.0844                            | 0.0059    | 0.6076                           | 0.0668    | 0.0488                           | 0.0014    | 1303                              | 136   | 482                              | 42    | 307                              | 9     |
| 24                                                                                                         | 179           | 153 | 13  | 1.17 | 0.0591                            | 0.0028    | 0.1965                           | 0.0088    | 0.0247                           | 0.0005    | 572                               | 104   | 182                              | 7     | 157                              | 3     |
| 25                                                                                                         | 922           | 377 | 57  | 2.45 | 0.0510                            | 0.0016    | 0.1754                           | 0.0056    | 0.0251                           | 0.0005    | 243                               | 70    | 164                              | 5     | 160                              | 3     |
| 26                                                                                                         | 27            | 51  | 2   | 0.53 | 0.0547                            | 0.0050    | 0.1657                           | 0.0118    | 0.0245                           | 0.0007    | 398                               | 201   | 156                              | 10    | 156                              | 4     |
| 27                                                                                                         | 65            | 151 | 9   | 0.43 | 0.0542                            | 0.0023    | 0.2395                           | 0.0103    | 0.0325                           | 0.0007    | 389                               | 96    | 218                              | 8     | 206                              | 4     |
| 28                                                                                                         | 914           | 735 | 61  | 1.24 | 0.0490                            | 0.0014    | 0.1658                           | 0.0048    | 0.0245                           | 0.0003    | 146                               | 67    | 156                              | 4     | 156                              | 2     |
| 29                                                                                                         | 489           | 442 | 35  | 1.11 | 0.0506                            | 0.0014    | 0.1740                           | 0.0056    | 0.0248                           | 0.0004    | 220                               | 67    | 163                              | 5     | 158                              | 2     |
| 30                                                                                                         | 109           | 206 | 10  | 0.53 | 0.0498                            | 0.0023    | 0.1684                           | 0.0079    | 0.0247                           | 0.0005    | 187                               | 114   | 158                              | 7     | 157                              | 3     |
| WJH-TW14(流纹岩)样品 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $154.8\pm 1.1\text{Ma}$ (MSWD=0.34, $n=28$ )     |               |     |     |      |                                   |           |                                  |           |                                  |           |                                   |       |                                  |       |                                  |       |
| 1                                                                                                          | 225           | 323 | 18  | 0.70 | 0.0581                            | 0.0025    | 0.1869                           | 0.0082    | 0.0236                           | 0.0005    | 532                               | 99    | 174                              | 7     | 150                              | 3     |
| 2                                                                                                          | 102           | 130 | 8   | 0.78 | 0.0689                            | 0.0038    | 0.2263                           | 0.0130    | 0.0241                           | 0.0006    | 896                               | 114   | 207                              | 11    | 153                              | 4     |
| 3                                                                                                          | 197           | 207 | 15  | 0.95 | 0.0568                            | 0.0031    | 0.1898                           | 0.0097    | 0.0245                           | 0.0005    | 483                               | 116   | 176                              | 8     | 156                              | 3     |
| 4                                                                                                          | 122           | 217 | 10  | 0.56 | 0.0531                            | 0.0026    | 0.1769                           | 0.0085    | 0.0243                           | 0.0006    | 345                               | 111   | 165                              | 7     | 155                              | 4     |
| 5                                                                                                          | 338           | 446 | 26  | 0.76 | 0.0485                            | 0.0016    | 0.1640                           | 0.0061    | 0.0242                           | 0.0005    | 124                               | 71    | 154                              | 5     | 154                              | 3     |
| 6                                                                                                          | 129           | 222 | 11  | 0.58 | 0.0558                            | 0.0029    | 0.1849                           | 0.0092    | 0.0246                           | 0.0006    | 456                               | 119   | 172                              | 8     | 157                              | 4     |
| 7                                                                                                          | 185           | 321 | 16  | 0.58 | 0.0527                            | 0.0021    | 0.1720                           | 0.0067    | 0.0239                           | 0.0005    | 322                               | 93    | 161                              | 6     | 152                              | 3     |
| 8                                                                                                          | 155           | 272 | 13  | 0.57 | 0.0498                            | 0.0022    | 0.1626                           | 0.0071    | 0.0240                           | 0.0005    | 187                               | 102   | 153                              | 6     | 153                              | 3     |
| 9                                                                                                          | 193           | 311 | 15  | 0.62 | 0.0495                            | 0.0022    | 0.1650                           | 0.0071    | 0.0242                           | 0.0005    | 172                               | 97    | 155                              | 6     | 154                              | 3     |
| 10                                                                                                         | 194           | 339 | 17  | 0.57 | 0.0491                            | 0.0022    | 0.1607                           | 0.0072    | 0.0239                           | 0.0004    | 154                               | 107   | 151                              | 6     | 152                              | 3     |
| 11                                                                                                         | 45            | 108 | 4   | 0.42 | 0.0503                            | 0.0042    | 0.1636                           | 0.0122    | 0.0241                           | 0.0006    | 209                               | -5    | 154                              | 11    | 154                              | 4     |
| 12                                                                                                         | 82            | 139 | 7   | 0.59 | 0.0538                            | 0.0032    | 0.1831                           | 0.0111    | 0.0248                           | 0.0005    | 361                               | 127   | 171                              | 10    | 158                              | 3     |
| 13                                                                                                         | 232           | 257 | 16  | 0.90 | 0.0496                            | 0.0026    | 0.1629                           | 0.0074    | 0.0241                           | 0.0005    | 189                               | 120   | 153                              | 7     | 154                              | 3     |
| 14                                                                                                         | 550           | 341 | 33  | 1.61 | 0.0472                            | 0.0020    | 0.1580                           | 0.0065    | 0.0244                           | 0.0005    | 61                                | 106   | 149                              | 6     | 156                              | 3     |
| 15                                                                                                         | 104           | 147 | 16  | 0.71 | 0.0538                            | 0.0022    | 0.3951                           | 0.0162    | 0.0536                           | 0.0011    | 365                               | 60    | 338                              | 12    | 336                              | 7     |
| 16                                                                                                         | 174           | 304 | 14  | 0.57 | 0.0487                            | 0.0019    | 0.1632                           | 0.0065    | 0.0244                           | 0.0005    | 200                               | 97    | 154                              | 6     | 155                              | 3     |
| 17                                                                                                         | 237           | 261 | 16  | 0.91 | 0.0496                            | 0.0023    | 0.1651                           | 0.0076    | 0.0243                           | 0.0005    | 176                               | 107   | 155                              | 7     | 155                              | 3     |
| 18                                                                                                         | 189           | 317 | 15  | 0.60 | 0.0521                            | 0.0031    | 0.1777                           | 0.0113    | 0.0244                           | 0.0005    | 300                               | 137   | 166                              | 10    | 155                              | 3     |
| 19                                                                                                         | 118           | 197 | 10  | 0.60 | 0.0461                            | 0.0024    | 0.1579                           | 0.0077    | 0.0251                           | 0.0005    | 400                               | -280  | 149                              | 7     | 160                              | 3     |
| 20                                                                                                         | 166           | 300 | 13  | 0.55 | 0.0495                            | 0.0020    | 0.1651                           | 0.0066    | 0.0245                           | 0.0005    | 172                               | 94    | 155                              | 6     | 156                              | 3     |
| 21                                                                                                         | 144           | 247 | 11  | 0.59 | 0.0498                            | 0.0024    | 0.1673                           | 0.0079    | 0.0244                           | 0.0005    | 187                               | 108   | 157                              | 7     | 155                              | 3     |
| 22                                                                                                         | 172           | 289 | 13  | 0.60 | 0.0530                            | 0.0024    | 0.1769                           | 0.0079    | 0.0243                           | 0.0005    | 328                               | 100   | 165                              | 7     | 155                              | 3     |
| 23                                                                                                         | 154           | 215 | 12  | 0.72 | 0.0501                            | 0.0027    | 0.1651                           | 0.0086    | 0.0243                           | 0.0005    | 198                               | 128   | 155                              | 7     | 155                              | 3     |
| 24                                                                                                         | 321           | 437 | 39  | 0.74 | 0.0516                            | 0.0014    | 0.3045                           | 0.0086    | 0.0426                           | 0.0006    | 333                               | 58    | 270                              | 7     | 269                              | 4     |
| 25                                                                                                         | 168           | 284 | 13  | 0.59 | 0.0450                            | 0.0021    | 0.1501                           | 0.0069    | 0.0243                           | 0.0005    | -                                 | -     | 142                              | 6     | 155                              | 3     |
| 26                                                                                                         | 177           | 327 | 15  | 0.54 | 0.0497                            | 0.0020    | 0.1660                           | 0.0066    | 0.0244                           | 0.0005    | 189                               | 94    | 156                              | 6     | 155                              | 3     |
| 27                                                                                                         | 190           | 330 | 15  | 0.57 | 0.0486                            | 0.0021    | 0.1618                           | 0.0068    | 0.0243                           | 0.0004    | 132                               | 99    | 152                              | 6     | 155                              | 2     |
| 28                                                                                                         | 64            | 96  | 5   | 0.67 | 0.0552                            | 0.0037    | 0.1786                           | 0.0110    | 0.0245                           | 0.0006    | 420                               | 148   | 167                              | 9     | 156                              | 4     |
| 29                                                                                                         | 136           | 211 | 11  | 0.64 | 0.0519                            | 0.0024    | 0.1747                           | 0.0079    | 0.0245                           | 0.0004    | 280                               | 106   | 163                              | 7     | 156                              | 3     |
| 30                                                                                                         | 264           | 266 | 17  | 0.99 | 0.0479                            | 0.0023    | 0.1599                           | 0.0077    | 0.0243                           | 0.0004    | 95                                | 111   | 151                              | 7     | 155                              | 3     |

加权平均值为  $154.8 \pm 1.1 \text{ Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.34$ )。

### 3 地球化学特征

地球化学样品在沈阳地质矿产研究所实验测试中心完成。将测试样品粉碎至 200 目后进行主量、微量和稀土元素测试,其中主量元素用 XRF 玻璃熔片法,分析精度优于 5%;微量和稀土元素利用 ICP-MS 分析方法,分析精度优于 10%。测试结果见表 2。

#### 3.1 主量元素

由表 2 可知,满克头鄂博组火山岩样品  $\text{SiO}_2$  质量分数介于 76.71%~78.48%之间,具有高铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 13.15%~13.73%)、高钾( $\text{K}_2\text{O}$  为 3.15%~3.63%)、低镁( $\text{MgO}$  为 0.24%~0.44%)、低钙( $\text{CaO}$  为 0.07%~0.13%)的特点,全碱( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ )范围介于 5.11%~

5.81%之间,分异指数( $DI$ )为 90.34~92.07。在 TAS 图解(图 3)中,样品点全部落入流纹岩范围。在硅碱图(图 4)中,满克头鄂博组火山岩全部落入钙碱性系列。在  $\text{A/CNK}-\text{A/NK}$  图解(图 5)中,样品点均落在过铝质区域。

#### 3.2 稀土和微量元素

满克头鄂博组火山岩稀土元素总量( $\sum \text{REE}$ )较低(表 2),为  $64.75 \times 10^{-6} \sim 72.65 \times 10^{-6}$ ,轻稀土元素(LREE)较富集,含量为  $61.14 \times 10^{-6} \sim 68.31 \times 10^{-6}$ ,重稀土元素(HREE)亏损,含量为  $3.61 \times 10^{-6} \sim 4.33 \times 10^{-6}$ , $(\text{La}/\text{Yb})_N=20.24 \sim 22.68$ ,轻、重稀土元素分馏明显。球粒陨石标准化稀土元素配分模式图呈右倾形式(图 6)。 $\delta \text{Eu}$  值介于 1.12~1.75 之间,具有正 Eu 异常。原始地幔标准化蛛网图显示大离子亲石元素(LILE)Rb、K 相对富集,高场强元素(HFSE)Nb、Ti、

表 2 满克头鄂博组流纹岩主量、微量和稀土元素分析结果

Table 2 Major elements, trace elements and REE data of rhyolite samples in Manketouebo Formation

| 样品号                     | TW14-YQ5 | TW14-YQ6 | TW14-YQ7 | TW14-YQ8 | TW14-YQ9 | 样品号                | TW14-YQ5 | TW14-YQ6 | TW14-YQ7 | TW14-YQ8 | TW14-YQ9 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\text{SiO}_2$          | 78.40    | 77.69    | 76.71    | 78.48    | 77.64    | Tm                 | 0.086    | 0.084    | 0.081    | 0.081    | 0.088    |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 13.29    | 13.35    | 13.73    | 13.15    | 13.37    | Yb                 | 0.58     | 0.57     | 0.56     | 0.53     | 0.57     |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0.65     | 0.64     | 0.59     | 0.53     | 0.41     | Lu                 | 0.081    | 0.081    | 0.076    | 0.077    | 0.090    |
| FeO                     | 0.49     | 0.49     | 0.31     | 0.40     | 0.47     | Y                  | 6.18     | 5.73     | 5.17     | 5.17     | 5.84     |
| CaO                     | 0.10     | 0.13     | 0.092    | 0.088    | 0.072    | Ba                 | 602      | 620      | 924      | 583      | 891      |
| MgO                     | 0.34     | 0.44     | 0.30     | 0.30     | 0.26     | Cr                 | 9.74     | 5.83     | 8.90     | 6.82     | 9.74     |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 1.49     | 1.80     | 2.26     | 2.10     | 2.39     | Ga                 | 16.7     | 15.5     | 15.2     | 16.2     | 14.7     |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 3.63     | 3.40     | 3.53     | 3.15     | 3.42     | Nb                 | 9.59     | 9.71     | 10.4     | 9.19     | 9.58     |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0.049    | 0.061    | 0.026    | 0.030    | 0.013    | Rb                 | 109      | 103      | 102      | 99.8     | 96.2     |
| $\text{TiO}_2$          | 0.13     | 0.12     | 0.12     | 0.13     | 0.13     | Sr                 | 42.6     | 43.0     | 79.8     | 61.1     | 88.9     |
| MnO                     | 0.033    | 0.030    | 0.025    | 0.027    | 0.026    | Zr                 | 55.9     | 55.7     | 67.1     | 65.1     | 63.8     |
| 烧失量                     | 1.68     | 1.66     | 1.80     | 1.78     | 1.70     | Li                 | 11.1     | 10.0     | 8.84     | 9.66     | 9.18     |
| 总计                      | 100.29   | 99.82    | 99.51    | 100.17   | 99.91    | Be                 | 1.86     | 1.91     | 1.81     | 1.84     | 1.70     |
| La                      | 18.34    | 17.95    | 16.86    | 16.95    | 16.03    | Sc                 | 1.07     | 0.80     | 0.47     | 0.93     | 0.86     |
| Ce                      | 27.78    | 24.55    | 29.25    | 25.99    | 28.52    | Co                 | 1.47     | 1.58     | 1.30     | 1.30     | 1.31     |
| Pr                      | 4.26     | 4.19     | 3.52     | 3.65     | 3.45     | Ni                 | 7.33     | 7.76     | 4.99     | 5.53     | 5.39     |
| Nd                      | 14.6     | 14.4     | 11.5     | 11.8     | 12.1     | U                  | 0.46     | 0.60     | 0.41     | 0.39     | 0.40     |
| Sm                      | 2.47     | 2.37     | 1.97     | 2.05     | 1.97     | Hf                 | 2.24     | 2.25     | 2.38     | 2.20     | 2.47     |
| Eu                      | 0.87     | 0.70     | 0.83     | 0.67     | 0.96     | Ta                 | 0.51     | 0.54     | 0.55     | 0.54     | 0.61     |
| Gd                      | 1.42     | 1.27     | 1.21     | 1.07     | 1.25     | Th                 | 5.20     | 5.22     | 4.58     | 6.40     | 3.85     |
| Tb                      | 0.26     | 0.26     | 0.22     | 0.22     | 0.23     | $DI$ (分异指数)        | 90.5     | 90.3     | 91.6     | 91.4     | 92.1     |
| Dy                      | 1.25     | 1.18     | 1.08     | 1.07     | 1.05     | $\text{Mg}^\#$     | 37.96    | 48.77    | 38.56    | 37.75    | 56.13    |
| Ho                      | 0.22     | 0.21     | 0.19     | 0.19     | 0.21     | $\sum \text{REE}$  | 72.65    | 68.26    | 67.66    | 64.75    | 66.93    |
| Er                      | 0.45     | 0.42     | 0.34     | 0.36     | 0.44     | $\delta \text{Eu}$ | 1.31     | 1.12     | 1.53     | 1.24     | 1.75     |

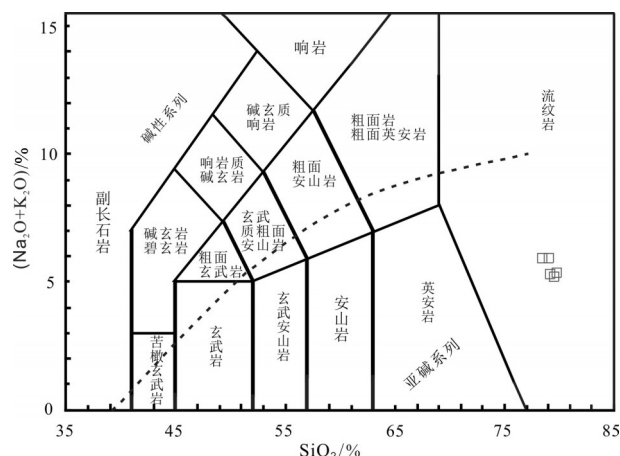


图 3 满克头鄂博组流纹岩样品 TAS 分类图解

Fig. 3  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  diagram for rhyolite samples in Manketouebo Formation

P 强烈亏损,表明火山岩岩浆为壳源岩浆或岩浆被壳源物质混染。

## 4 讨论

### 4.1 火山岩形成时代

LA-ICP-MS 测得流纹质隐爆角砾岩 (TW6) 和流纹岩 (TW14) 的锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为  $157.2 \pm 1.2\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.33$ ,  $n=22$ ) 和  $154.8 \pm 1.1\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.34$ ,  $n=28$ ), 可以代表火山岩的形成时代。根据最新国际地质年代划分方案,其形成时代应为晚侏罗世。1:25 万乌兰浩特幅区域地质调查项目根据地层对比将其划分为白音高老组,但 U-Pb 测年结果显示其形成时代为晚侏罗世,应归属于满克头鄂博组。

近年来,学者们针对大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩进行了大量的锆石 U-Pb 同位素年龄测试<sup>[2-6,11]</sup>,具体见表 3。大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩年龄最大为  $157.2 \pm 1.2\text{Ma}$ , 最小为  $132.2 \pm 0.5\text{Ma}$ , 且呈现出由西 (赤峰地区) 向东 (克一河地区), 形成时代越来越新的趋势, 与蒙古-鄂霍次克洋呈剪刀式自西向东逐渐闭合的过程吻合, 即远离俯冲带闭合时间越晚, 火山活动也与之匹配。许文良等认为, 早侏罗世蒙古-鄂霍次克洋板块对额尔古纳地块之下俯冲, 而中侏罗世蒙古-鄂霍次克洋开始闭合, 东部的闭合时间可能持续到晚侏罗世—早白垩世<sup>[12]</sup>, 随着鄂霍次克洋的闭合, 在伸展背

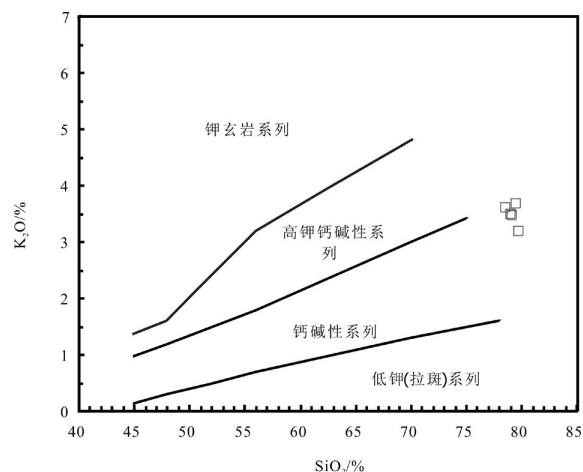
图 4 满克头鄂博组流纹岩样品  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解

Fig. 4  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{K}_2\text{O}$  diagram for rhyolite samples in Manketouebo Formation

景下产生了一系列的晚中生代火山岩<sup>[13-15]</sup>。因此, 大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩应该与蒙古-鄂霍次克缝合带闭合关系密切。

### 4.2 地球化学特征

本区满克头鄂博组火山岩具有高硅 ( $\text{SiO}_2$  平均为 77.79%)、富碱 ( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  平均为 5.53%)、贫镁、含钙的特征, 富集大离子亲石元素 Rb、K 等, 亏损高场强元素 Nb、Ti、P 等, 为壳源岩浆的典型特征。流纹岩具有正 Eu 异常, 造成正 Eu 异常的原因可能是部分熔融下地壳形成的岩浆直接固结, 在岩浆上升

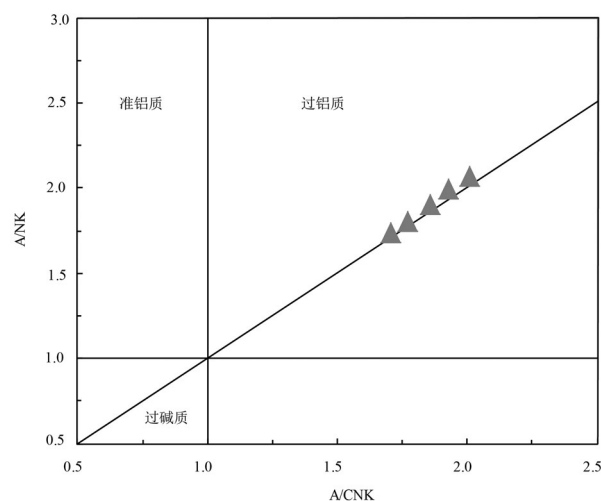


图 5 满克头鄂博组流纹岩样品 A/CNK-A/NK 图解

Fig. 5 A/CNK versus A/NK diagram for rhyolite samples in Manketouebo Formation

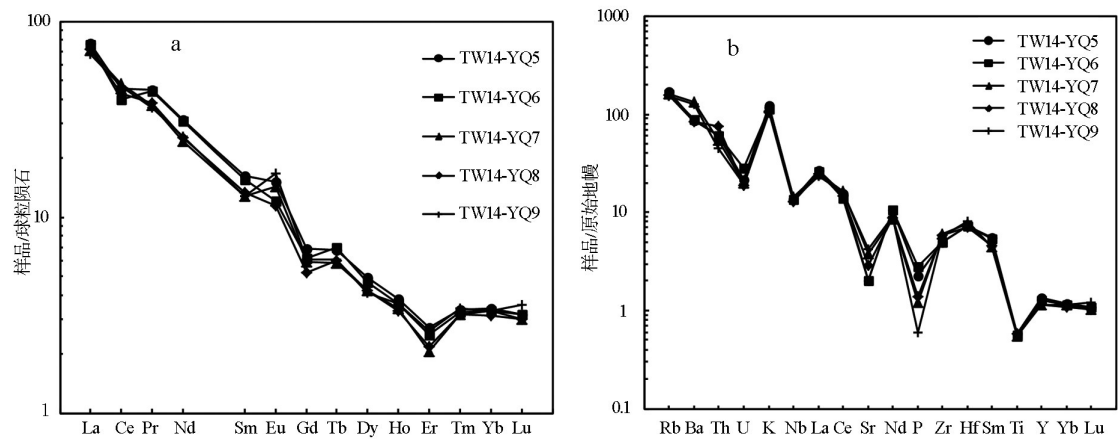


图6 满克头鄂博组流纹岩稀土元素配分模式图(a)和微量元素蛛网图(b)  
Fig. 6 Chondrite-normalized rare earth element patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams(b) for rhyolite samples in Manketouebo Formation

过程中捕获了围岩中的斜长石等捕虏晶造成的。Sr、Yb平均值分别为 $63.1\times10^{-6}$ 和 $0.56\times10^{-6}$ ,属于低Sr低Yb型,Rb/Sr值为1.1~2.6,与壳源岩浆(Rb/Sr>0.5)的范围一致,进一步说明本区满克头鄂博组火山岩可能来源于地壳。

4.3 构造背景

对于大兴安岭中生代火山岩的构造背景,目前存在多种观点,主要有地幔柱热动力相关的地幔熔融<sup>[16-17]</sup>、蒙古-鄂霍次克洋闭合后伸展<sup>[18-20]</sup>和太平洋板块俯冲<sup>[21]</sup>3种观点,但目前地幔柱作用模式难以对大兴安岭中生代火山岩做出合理解释<sup>[2,13]</sup>,而蒙古-

鄂霍次克洋的闭合与太平洋板块俯冲的作用还存在较大争议。大兴安岭西北部鄂霍次克洋的闭合时间应为中侏罗世,而吉黑东部尚未发现140~165Ma的火山岩,暗示此阶段的演化时间与太平洋板块俯冲无关<sup>[12]</sup>,大兴安岭地区远离古太平洋俯冲带,晚侏罗世本区受太平洋板块俯冲的影响较弱<sup>[22]</sup>。本区流纹岩在微量元素构造判别图解上全部落入造山后期区域(图7),也说明本次火山活动应该形成于造山后伸展构造环境。结合年龄分布特征及区域资料,笔者认为,扎赉特旗地区满克头鄂博组

表3 大兴安岭地区满克头鄂博组火山岩锆石U-Pb同位素年龄统计

Table 3 Reported zircon U-Pb ages of volcanic rocks of Manketouebo Formation in Da Higgan Mountains

| 地区                     | 锆石U-Pb同位素年龄 |
|------------------------|-------------|
| 克一河地区 <sup>[6]</sup>   | 132.2±0.5Ma |
| 克一河地区 <sup>[5]</sup>   | 138.8±1.6Ma |
| 塔尔气地区 <sup>[4]</sup>   | 143.4±1.3Ma |
| 塔尔气地区 <sup>[4]</sup>   | 141.4±1.5Ma |
| 扎赉特旗地区(本文)             | 154.8±1.1Ma |
| 扎赉特旗地区(本文)             | 157.2±1.2Ma |
| 满克头鄂博地区 <sup>[2]</sup> | 152±1Ma     |
| 满克头鄂博地区 <sup>[2]</sup> | 156±9Ma     |
| 林西地区 <sup>[11]</sup>   | 151.4±1.4Ma |
| 赤峰地区 <sup>[3]</sup>    | 156±2Ma     |
| 赤峰地区 <sup>[3]</sup>    | 157±3Ma     |

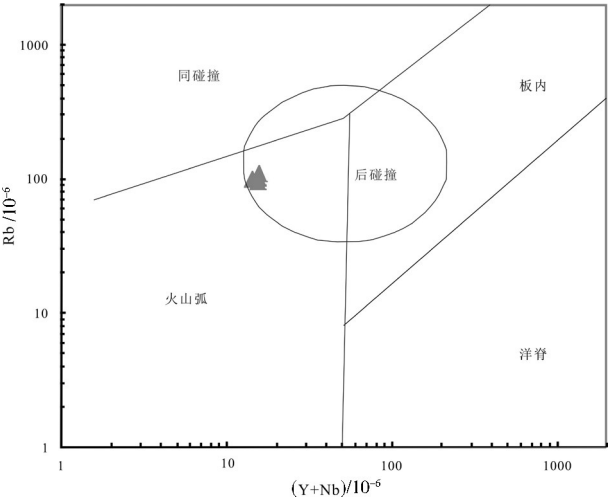


图7 满克头鄂博组流纹岩(Y+Nb)-Rb图解  
Fig. 7 (Y+Nb) versus Rb diagram for rhyolite samples in Manketouebo Formation

火山岩主要受蒙古-鄂霍次克洋闭合造山后岩石圈伸展作用的影响。

## 5 结 论

(1)扎赉特旗北部满克头鄂博组火山岩形成于154~157Ma,时代为晚侏罗世。

(2)满克头鄂博组火山岩富硅碱、贫钙镁,为钙碱性系列,Rb、K相对富集,Nb、Ti、P强烈亏损,Rb/Sr值为1.1~2.6,具有壳源岩浆特征。

(3)满克头鄂博组火山岩的形成与蒙古-鄂霍次克洋闭合后伸展作用关系密切。

## 参考文献

- [1]周其林,王献忠,吉峰,等.大兴安岭中生代火山岩地层对比[J].地质论评,2013,59(6):255-265.
- [2]Zhang J H, Gao S, Ge W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: implications for subduction-induced delamination[J]. Chemical Geology, 2010, 276: 144-165.
- [3]杨扬,高福红,陈井胜,等.赤峰地区中生代火山岩锆石U-Pb年代学证据[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(增刊2):257-268.
- [4]张超,杨伟红,和钟铎,等.大兴安岭中南段塔子沟地区满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究[J].世界地质,2014,33(2):255-265.
- [5]杜洋,刘正宏,崔维龙,等.大兴安岭克一河地区满克头鄂博组火山岩形成时代、地球化学特征及地质意义[J].世界地质,2017,36(1):54-65.
- [6]王春宇,王东彬,屈嘉骥.大兴安岭北段克一河地区满克头鄂博组流纹岩的年代及地球化学特征[J].黑龙江科技大学学报,2017, (1): 46-50.
- [7]周智超,蒋职权. 内蒙古扎赉特旗满克头鄂博组火山岩地球化学特征及其成因[J].西部资源,2017, (3):1-4.
- [8]Liu Y S, Gao S, Hu Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2009, 51(1&2): 537-571.
- [9]Liu, Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [10]Ludwig K R. Isoplot 3.0—a geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Special Publication Berkeley Geochronology Center, 2003: 1-70.
- [11]李鹏川,李世超,刘正宏,等.内蒙古林西地区满克头鄂博组火山岩形成时代及构造环境[J].世界地质,2016,35(1):77-88.
- [12]许文良,王枫,裴福萍,等.中国东北中生代构造体制与区域成矿背景:来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J].岩石学报,2013,29(2):339-353.
- [13]Wang F, Zhou X H, Zhang L C, et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 251:179-198.
- [14]秦涛,郑常青,崔天日,等. 内蒙古扎兰屯地区白音高老组火山岩地球化学、年代学及其地质意义[J].地质与资源,2014,23(2): 146-153.
- [15]孟恩,许文良,杨德彬,等.满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石U-Pb年代学、地球化学及其地质意义[J].岩石学报,2011,27(4):1209-1226.
- [16]林强,葛文春,孙德有,等.中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J].地质科学,1998,32(2): 129-139.
- [17]Yuan H L, Gao S, Liu X, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(3): 353-370.
- [18]郭锋,范蔚铭,王岳军,等. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用[J].岩石学报,2001,17(1):161-168.
- [19]张玉涛,张连昌,英基丰,等.大兴安岭北部扎兰屯脉岩群的地球化学特征及其地质意义[J].岩石学报,2006,22(11): 2733-2742.
- [20]高晓峰,郭锋,李超文.南兴安岭晚中生代火山岩的岩石成因(II):Pb同位素制约[J].中山大学学报(自然科学版),2009,48(6):121-126.
- [21]赵国龙,杨桂林,傅嘉友,等.大兴安岭中南部中生代火山岩[M].北京:北京科学技术出版社,1989: 1-260.
- [22]孟凡超,刘嘉麒,崔岩,等.中国东北地区中生代构造体制的转变:来自火山岩时空分布与岩石组合的制约[J].岩石学报,2014,30(12):3569-3586.