

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.04.01

河北怀安地区花岗闪长质片麻岩 地球化学特征及年代学研究

韩明洋,曹斌华*,张乐冲,马伟,李亚超

(中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心,山东烟台264000)

摘要:华北古陆的南北缘广泛分布着地球上目前已知年代最久远的早前寒武纪TTG岩系,其地球化学特征因起源和成因的不同存在较大差异;因此,对河北怀安地区花岗闪长质片麻岩开展地球化学分析和年代学的研究工作,对认识华北古陆地壳的演化、增生和再造具有重要意义。结果表明,花岗闪长质片麻岩的结晶年龄为2551 Ma,形成于新太古代五台旋回。岩体岩石类型主要为中细粒含紫苏花岗闪长质片麻岩, SiO_2 含量介于67.30%~74.94%,平均70.94%,总碱度 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=5.57\%\sim 8.01\%$,平均6.37%, A/CNK 平均1.53,属于偏铝质花岗岩。通过对该岩体构造环境分析,认为该花岗闪长质片麻岩主要形成于岩浆弧构造环境。

关键词:TTG岩系;怀安;花岗闪长质片麻岩;岩石学;地球化学;年代学

中图分类号: P588.3;P597.3

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)04-0001-09

华北古陆的南北缘广泛分布的TTG岩系是一种片麻岩,它由早前寒武纪(太古宙)奥长花岗岩-英云闪长岩-花岗闪长岩系列的花岗质侵入岩经变质形成,具有富钠贫钾的特点^[1-2]。探究TTG的岩石成因以及构造环境的探究对早期地壳形成、演化过程和动力学机制的研究有重要意义^[3]。对于华北克拉通独特的构造格局,存在不同的认识。一些学者认为华北克拉通是在~2.5 Ga完成克拉通化,其标志是微陆块拼合的“五台运动”^[4-5];克拉通的活化则为古元古代末期,是对太古宙-古元古代早期形成的刚性地壳的破坏,由于“吕梁运动”中区域上伸展运动产生的基性岩墙群和非造山岩浆活动等导致的^[6-7]。另一些学者认为太古宙末华北克拉通基底还没完全固结,依然有残留盆地^[8],在古元古代可能出现撞弧-陆碰撞和裂谷,直到~1.9 Ga形成克拉通^[9-12]。而东部和西部两陆块沿中部造山带的碰撞拼合源于“吕梁运动”(~1.8 Ga)^[12-13]。由此看来,华北克拉通太古宙末构造格局仍未有定论。河北怀安地区位于华北克拉通中北部,区内花岗闪长质片麻岩工作程度较低,

仅在1/20万的区调中略有涉及,缺乏岩石时代及岩石地球化学等诸多资料^[14]。对区内花岗闪长质片麻岩进行年龄测定,首次在该岩体中获得LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄2551 Ma。本文通过对其进行地球化学及年代学研究,探讨该区新太古代的岩浆活动及构造热事件,有望为华北克拉通构造演化提供重要约束。

1 地质背景

怀安地区位于河北省西北部的张家口一带,前中生代I级构造单元为华北陆块,以尚义-平泉断裂为界,断裂以北II级构造单元为冀北-阴山陆块,III级构造单元为冀北基底杂岩(Pt_1),IV级构造单元为红旗营子基底杂岩,断裂以南II级构造单元为五台-太行陆块,III级构造单元为恒山-桑干基底杂岩(Ar_3 、 Pt_1),IV级构造单元为大同-怀安-张家口古岩浆弧(Ar_3)^[15-16](图1)。经历了长期复杂的地质构造演化,构造岩浆活动强烈。

研究区内新太古代侵入岩普遍出露(图2)。根

收稿日期:2023-02-09

资助项目:中国地质调查局项目“西北沿边及特殊地区地质矿产调查(DD20160079)”;“河北1/5万西洋河、套里庄、鹿尾沟、怀安县、水闸屯幅区域地质矿产调查(12120114008801)”

作者简介:韩明洋(1992-),男,硕士,工程师,毕业于中国地质大学(武汉),专业方向为地质学,主要从事区域矿产地质调查工作,E-mail:872958618@qq.com。

*通讯作者:曹斌华(1983-),男,高级工程师,毕业于中国地质大学(北京),专业方向为海洋地质学,主要从事地质调查方面的研究,E-mail:Caobinhua_2019@163.com。

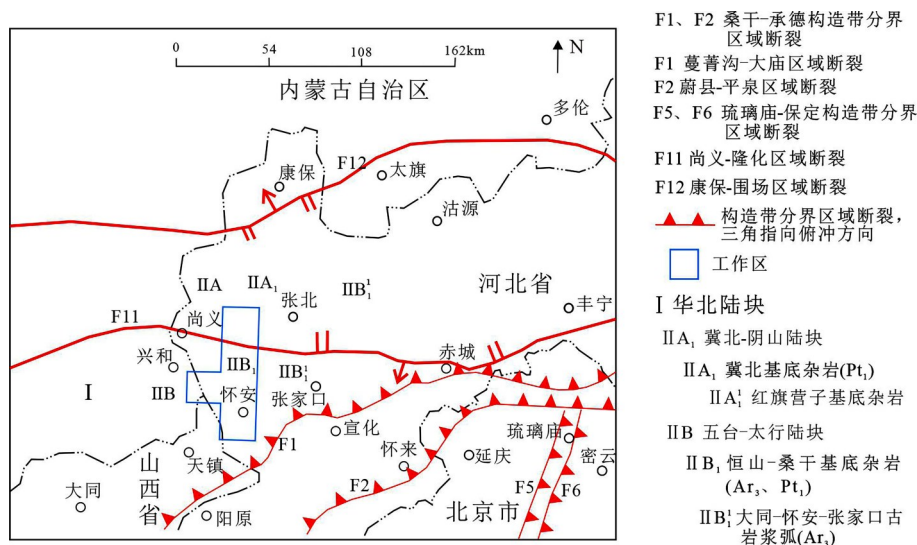


图1 中太古代晚期-古元古代构造单元划分图(据文献[3]修改)

Fig.1 The division of Late Mesoproterozoic–Paleoproterozoic tectonic units

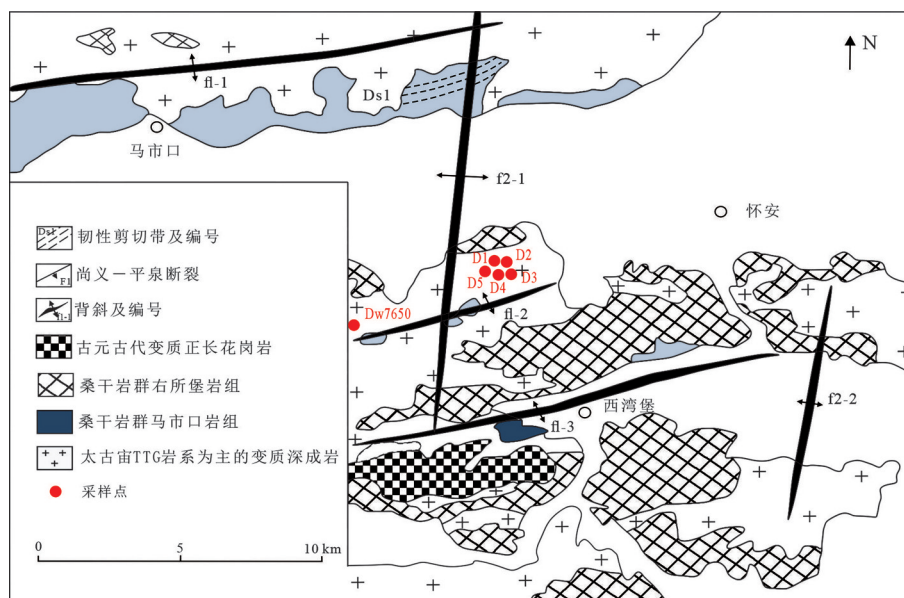


图2 怀安地区早前寒武纪地质简图

Fig.2 Geological sketch of Early Precambrian in Huai'an

据变质深成岩的岩石特征、产出特点、变质变形特征、接触关系及岩石地球化学特征、岩浆演化序列特征等,将研究区新太古代变质深成岩由早到晚划分4个单元,分别为新太古代英云闪长质片麻岩(Ar_3gn^{760})、花岗闪长质片麻岩(Ar_3gn^{76})、奥长花岗质片麻岩(Ar_3gn^{70})和二长花岗质片麻岩(Ar_3gn^{77})。新太古代变质深成岩呈岩株产出,并具有集中出露的特点,变质深成岩岩体长轴方向呈东西向展布。本次研究的花岗闪长质片麻岩分布在怀安县马市口东一带,内部有较多变质地层等的捕虏体。呈不规则小岩株状产出,长轴呈北东向展布。根据野外观察

及室内鉴定,其具体岩性为中细粒含紫苏花岗闪长质片麻岩,侵入到英云闪长质片麻岩(Ar_3gn^{760})和奥长花岗质片麻岩(Ar_3gn^{70})中,岩体中可见马市口岩组(Ar_3m)的包体,被古元古代辉绿岩脉($\beta\mu Pt_1$)侵入。

2 岩石学特征

岩石为花岗闪长质片麻岩(图3),呈浅灰、灰白色,具中细粒不等粒结构、局部可见变余半自形粒状结构、交代结构,片麻状构造、块状构造。岩石整体较均一,部分地段受后期混合岩化影响长英质脉体较多。主要矿物为钾长石、斜长石、石英,少量紫苏

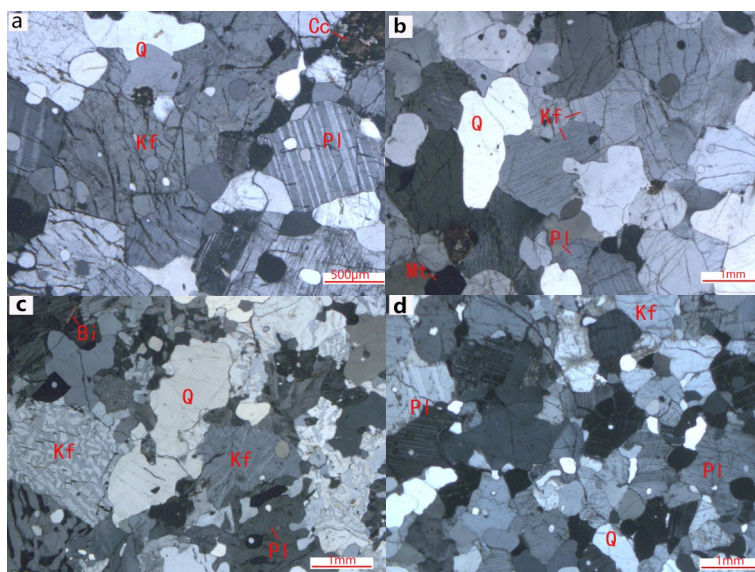


图3 花岗闪长质片麻岩镜下特征

Fig.3 Microscope features of the granodioritic gneiss

Q. 石英;Cc. 辉铜矿;Kf. 氟化钾;Pl. 斜长石;Mt. 磁铁矿;Bi. 铋

辉石、磁铁矿、黑云母、磷灰石等。斜长石呈半自形—他形粒状, 粒径0.64~2.40 mm, 具聚片双晶, 局部被钾长石呈补丁状交代, 含量40%~60%; 钾长石半自形—他形粒状, 粒径1.04~2.40 mm, 解理发育, 为条纹长石, 条纹形状呈粗条状、棒状、脉状、网状等, 见钾长石主晶中分布有细条纹状钠长石客晶, 含量10%~20%; 石英一般他形粒状, 粒径0.4~3.0 mm, 表面干净明亮, 微弱波状消光, 含量33%~40%; 紫苏辉石他形粒状, 粒径0.32~1 mm, 蚀变严重, 被黑云母、绿泥石完全交代, 保留假象, 有的颗粒可见少量残留晶体, 单光下呈淡粉色—淡绿色, 显著多色性, 含量约5%; 黑云母呈鳞片状, 粒径0.32~0.72 mm, 深褐色—淡褐色, 具显著多色性, 一组完全解理, 解理略显弯曲, 含量约1%, 少数黑云母沿解理有绿泥石化, 有的褪色为白云母, 并析出铁质。此外, 岩石中还含极少量磁铁矿和磷灰石。

3 样品采集及分析方法

在怀安县地区共采集6件样品, 其中主量、微量和稀土元素分析样品5件, 测年样品1件(采集位置见图2)。主量、微量和稀土元素分析样品选择新鲜样品粉碎至200目。主量元素分析在河北区矿调研究所分析测试中心完成, 主要采用X荧光法分析, FeO、离子水、烧失量采用重量法分析, 分析精度优于0.5%。稀土和微量元素分析在中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心化验室测试, 其中Sn采用AES-

7200地质样品专业发射光谱仪, As、Bi、Hg、Sb采用(AFS-8330)原子荧光光度计, Cr、Fe、Mn采用ICP等离子光谱仪(6300), Ni、Co、Sn、W、Mo、Te、Se、Ga、In、Tl、Rb、Cs、Ge、Cd、Zr、Hf、Nb、Ta、Re、V、Sr及稀土分量采用ICP-MS等离子质谱仪(ICP-Q)进行分析测试, 分析精度优于5%。在河北省廊坊地质调查研究院选矿实验室完成锆石分选。在原中国人民武装警察部队黄金地质研究所实验室完成锆石U-Pb测年工作, 使用ThermoFisher X Series 2四级杆和New Wave 193 nm激光等离子体质谱仪, 剥蚀深度为20~30 µm, 激光剥蚀束斑直径为35 µm, 频率10 Hz, 剥蚀物质采用He气作为载体, 以GJ-1、Nist610和Qinghu为外标对锆石样品的年龄进行校正。

4 分析结果

4.1 锆石U-Pb年龄

本次测年工作选取了一件花岗闪长质片麻岩样品进行LA-ICP锆石U-Pb定年(表1)。锆石呈大部分轻微水化, 次圆—浑圆柱状、粒状, 个别半自形双锥柱状, 表面受熔蚀, 大部分晶棱、晶面模糊不清, 个别棱角钝化(图4)。共分析测试了21个点, 2号数据点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为2 984 Ma, 16号数据点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为2 800 Ma, 存在一定铅丢失, 笔者倾向于认为该样品为捕获或残余锆石, 反映了本区存在中太古代陆核的信息^[17]。14、18、19号三个数据点位于具岩浆环带的成分域, 为岩浆锆石, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为

表1 花岗闪长质片麻岩的锆石LA-ICPMSU-Pb定年结果
Table 1 LA-ICPMS U-Pb dating results for the granodioritic gneiss

测点编号	元素含量/ $\times 10^{-6}$			Th/U	同位素比值及误差				年龄及误差/Ma	
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
TW765001	21.60	29.6	33.7	0.88	10.644 1	0.263 0	0.470 5	0.007 1	2 494	74
TW765007	64.26	37.4	171	0.22	5.333 0	0.125 7	0.346 9	0.006 1	1 828	40
TW765008	104.1	116	192	0.60	8.979 7	0.201 5	0.437 2	0.007 7	2 336	35
TW765009	6.51	8.83	16.4	0.54	5.130 6	0.213 0	0.340 5	0.008 2	1 806	71
TW765010	17.28	23.4	26.7	0.88	10.467 5	0.289 2	0.493 4	0.008 8	2 392	45
TW765011	31.74	37.9	56.8	0.67	8.922 2	0.242 9	0.461 6	0.009 0	2 222	37
TW765012	50.7	51.8	99.3	0.52	8.453 1	0.184 9	0.424 3	0.006 7	2 277	32
TW765013	27.79	36.2	65.1	0.56	6.893 6	0.167 2	0.363 9	0.006 0	2 191	36
TW765014	175.4	261	311	0.84	9.170 4	0.178 0	0.428 9	0.006 6	2 406	31
TW765015	13.78	15.0	26.9	0.56	8.067 0	0.276 3	0.415 4	0.008 5	2 256	54
TW765017	101.4	155	173	0.90	9.400 1	0.233 6	0.429 1	0.007 3	2 439	37
TW765018	57.6	66.3	94.6	0.70	10.591 6	0.245 5	0.462 7	0.007 9	2 518	35
TW765019	96.1	86.1	163	0.53	10.996 3	0.223 3	0.471 6	0.007 0	2 551	34
TW765020	213.5	163	420	0.39	8.217 6	0.218 0	0.406 4	0.008 0	2 296	32
TW765021	37.78	31.8	84.0	0.38	7.177 4	0.193 8	0.379 6	0.006 0	2 187	42

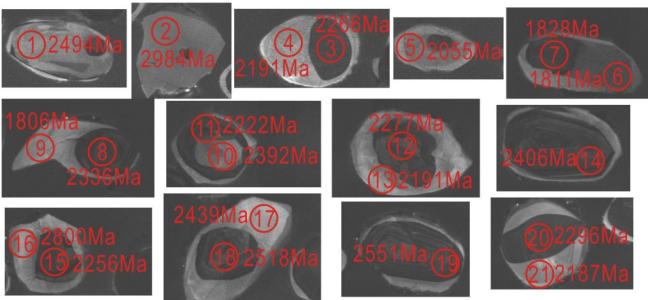


图4 花岗闪长质片麻岩的锆石特征

Fig.4 Zircon characteristics of the granodioritic gneiss

2 406 Ma、2 518 Ma、2 551 Ma、14、18 号数据点发生熔蚀作用,原生锆石的封闭系统被破坏,使年龄值偏小,19号数据点所处成分域环带明显并且完好,代表了岩浆形成时的年龄(图5)。3、4、11、12、15、20号6个数据点位于重结晶或增生边的成分域, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄加权平均后为 $2\,263\pm 34\text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=2.9$),该年龄接近古元古代早期构造热事件年龄记录^[4]。6、7、9号3个数据点也位于重结晶或增生边的成分域, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $1\,817\pm 24$ ($\text{MSWD}=0.25$),可能是古元古代晚期构造热事件年龄记录,也显示了中亚造山带影响的存在^[18]。根据以上分析,本区花岗闪长质片麻岩形成于2 551 Ma,即五台中期,在2 300 Ma、1 800 Ma左右经历两次变质作用(图6)。

4.2 岩石化学特征

花岗闪长质片麻岩主量、稀土和微量元素分析结果见表2。

花岗闪长质片麻岩 SiO_2 含量介于 67.30%~

74.94%,平均 70.94%,总碱度 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=5.57\%\sim 8.01\%$,平均 6.37%, A/CNK 平均 1.53,属于偏铝质花岗岩。在实际矿物含量 QAP 分类图解^[19](图 7 左)中主要落在花岗闪长岩区。在 S 型、I 型花岗岩判别图解^[20](图 7 右)中均投在 I 型花岗岩区。并在对该地区进行填图工作中发现该岩石具有 I 型花岗岩特征。

4.3 稀土元素

由表 2 可知前三个花岗闪长质片麻岩样品 ΣREE 为 86.52~103.5 $\mu\text{g/g}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=6.02\sim 6.98$,后两个花岗闪长质片麻岩样品 ΣREE 为 33.97~50.09 $\mu\text{g/g}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=6.48\sim 7.23$,为轻稀土富集的右倾型配分模式^[21](图 8)。 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=3.08\sim 5.56$, $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}=$

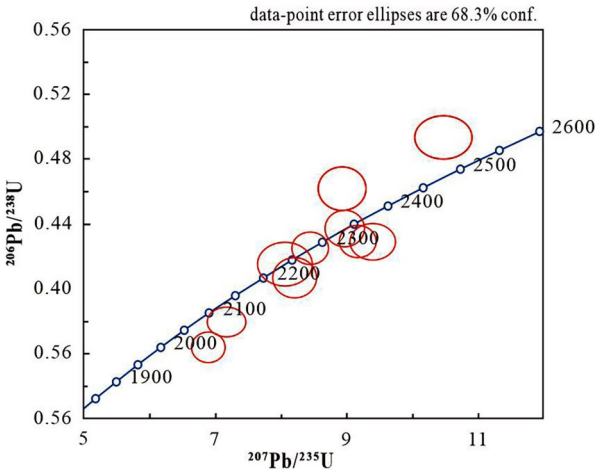


图5 花岗闪长片麻岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄谐和图
Fig.5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of the granodioritic gneiss

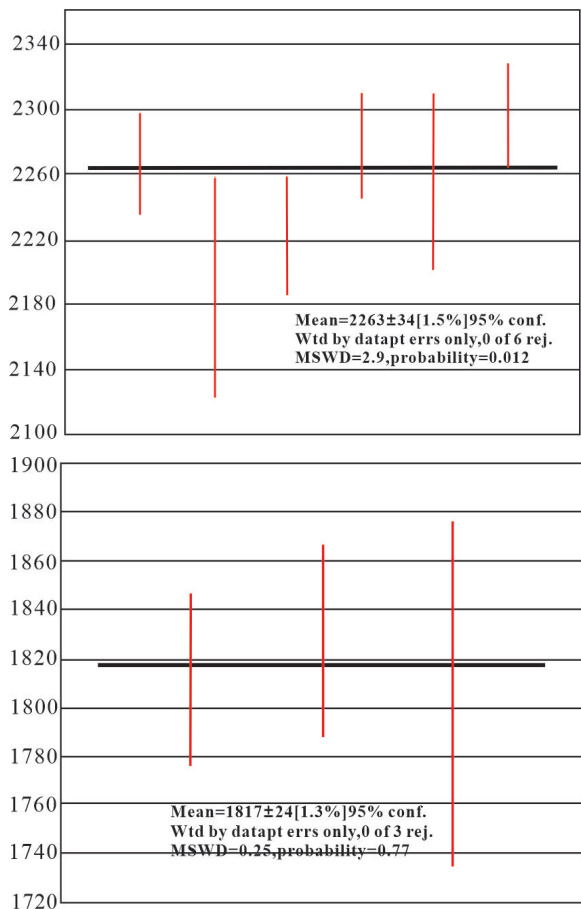


图6 花岗闪长片麻岩的锆石U-Pb两期变质作用
加权平均年龄

Fig.6 Zircon U-Pb weighted average ages of
the granodioritic gneiss

0.53 ~ 1.39, 显示轻稀土分馏明显, 而重稀土分馏很弱。Eu显示正异常, $\delta\text{Eu}=1.14 \sim 1.91$, 且从样品1到样品5正异常逐渐增强。后两个样品Ce显示负异常, $\delta\text{Ce}=0.65 \sim 0.68$ 。

岩浆中褐帘石分离结晶作用可能导致花岗闪长质片麻岩LREE降低^[22], 氟化物的形成和流体分异可能同时造成HREE的富集^[23], 实验结果证明岩浆过程中的富F流体作用导致残余熔体中HREE的富集^[24], 而氟化物是HREE的主要载体^[25]。但是Eu负异常不明显, 暗示着岩体岩浆分异演化不明显。花岗闪长质片麻岩中两个样品的Ce显示负异常, 可能是岩浆中氧化作用形成的^[26]。

4.4 微量元素

微量元素组成方面, 微量元素原始地幔标准化蛛网图^[27](图9)显示, 花岗闪长质片麻岩富含Rb、La、Sm元素, 而亏损Ce、Ta、U、Nd、V元素。Sr由亏损逐渐变为富集。U和Nb元素在五个样品中分布较为凌

乱, Ta元素逐渐减少。Rb/Sr平均为0.157, 较上地幔Rb/Sr(0.022)有所偏高, 说明岩浆在向上运移过程中有壳源物质的混入。该微量元素特征同样暗示岩浆结晶分异程度不高^[28-29]。

5 讨论

5.1 构造环境

不同的花岗岩岩石组合确定不同岩浆的构造环境^[30], 花岗闪长质片麻岩的1、2、3号样品投影点落在板块碰撞前花岗岩区, 4、5号样落在造山晚期花岗岩区(图10)。酸性侵入岩在不同构造环境中的地球化学特征不同, 深入分析研究后, 微量元素可作为岩浆侵入构造环境判别标志之一。由不同类型花岗岩的Rb-Yb+Ta图解^[31](图11)可见, 两期均落在火山弧花岗岩区中。五台旋回开始于2 600 Ma, 结束于2 500 Ma, 该旋回是本区新生陆壳的增生加厚阶段。结合本区基底构造及演化特征分析, 新太古代花岗闪长质片麻岩形成于洋壳俯冲过程中的岩浆弧构造环境^[32]。辽南地区也存在大量的新太古代晚期岩浆作用。区域上TTG质片麻岩研究程度较高, 普遍认为其形成于俯冲环境含水洋壳的部分熔融过程^[19,33]。

综上所述, 怀安地区发育新太古代岩浆作用, 这与胶东地区、中条地区、赞皇地区、阜平地区以及大青山地区发育的2 600 ~ 2 500 Ma重要的构造-岩浆热事件相吻合, 为华北克拉通新太古代晚期岩浆作用的典型代表之一。

5.2 岩石成因

花岗闪长质片麻岩样品在图7中均落在I型花岗岩区。在化学成分上Na₂O和CaO含量较高, Na₂O/K₂O>1, 实际矿物中未见白云母、石榴子石等富铝矿物, 而出现角闪石、磁铁矿, CIPW标准矿物中不出现刚玉, 符合I型花岗岩的特点。但是A/CNK>1.1, 与I型花岗岩又有些不符。根据野外观察及区域资料, 判断该花岗闪长质片麻岩的原岩属于I型花岗岩, 花岗闪长质片麻岩富含Rb、La、Sm元素, 而亏损Ce、Ta、U、Nd、V元素, LREE元素相对富集, HREE元素相对亏损, 其微量元素含量具有造山带岩浆特征。岩浆物质来源于下地壳, 岩体岩浆源区可能为新太古代地壳物质, 岩浆来源于早期地壳物质的再循环^[34]。花岗岩类超单元质量百分比图可以反映岩浆演化过程中铁镁组分的变化关系, 由图12可得出花岗闪长质片麻岩原岩岩浆演化趋向于钾钠系列^[35]。

表2 河北怀安地区花岗闪长质片麻岩主量(%)、稀土($\mu\text{g/g}$)和微量元素($\mu\text{g/g}$)分析数据
Table 2 The data of major (wt%), rare-earth and trace elements ($\mu\text{g/g}$) of the granodioritic gneiss

样品编号	主量元素含量/%															特征参数	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	LOI	Total	A/CNK	
D-1	67.3	0.47	15.45	3.05	0.31	0.072	0.52	4.44	4.35	1.2	0.11	1.25	0.34	2.54	99.81	1.55	
D-2	69.41	0.42	14.47	1.97	1.51	0.049	0.63	4.03	4.03	1.75	0.091	0.86	0.4	1.46	99.81	1.47	
D-3	74.94	0.3	12.85	1.7	0.69	0.031	0.4	2.32	3.75	2.31	0.055	0.38	0.26	0.5	99.85	1.53	
D-4	69.9	0.22	16.43	1.21	0.74	0.028	0.22	2.31	5.45	2.56	0.093	0.52	0.2	0.52	99.67	1.59	
D-5	73.15	0.04	15.6	0.48	0.89	0.02	0.09	2.73	5.25	1.22	0.076	0.34	0.2	0.34	99.87	1.69	
样品编号	稀土元素含量/×10 ⁻⁶															特征参数	
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	δEu	
D-1	13.7	40.3	4.64	16.7	2.8	1.07	2.09	0.37	1.85	0.34	0.98	0.14	1.35	0.19	86.52	1.3	
D-2	14.8	45.31	4.67	16.47	2.91	1	2.15	0.39	1.99	0.38	1.1	0.16	1.43	0.19	92.95	1.18	
D-3	16.6	50.1	5.2	18	2.95	1.04	2.49	0.46	2.42	0.49	1.39	0.21	1.86	0.29	103.5	1.14	
D-4	10.56	17.16	3.44	12.19	1.9	0.93	0.91	0.2	0.92	0.17	0.52	0.08	0.99	0.13	50.09	1.91	
D-5	8.7	11.97	2.14	6.83	0.98	0.43	0.52	0.14	0.65	0.12	0.39	0.06	0.9	0.12	33.97	1.65	
样品编号	微量元素含量/×10 ⁻⁶															特征参数	
	Cs	Rb	Sr	Ga	Nb	Ta	Th	V	Co	Ni	Li	Sc	U	Ti	Y	Rb/Sr	
D-1	0.39	50.27	476	19.85	5.64	0.17	0.62	57.6	11.6	24.3	13.1	6.71	0.09	0.01	6.37	0.11	
D-2	0.25	56.57	292	19.65	8.06	0.35	0.87	51.6	8.8	13.1	11.9	6.88	<0.01	0.09	7.01	0.19	
D-3	0.35	64.02	176	18.92	11.89	0.68	2.3	25.3	6.04	27.2	10	5.15	0.38	0.08	14.3	0.36	
D-4	0.41	57.97	1179	19.49	3.1	0.12	0.67	25	7.84	13.9	9.97	2.2	<0.01	0.22	3.83	0.05	
D-5	0.34	50.99	677.9	14.66	1.65	0.07	0.8	7.77	8.54	7.43	13.3	0.62	0.05	0.09	3.02	0.08	

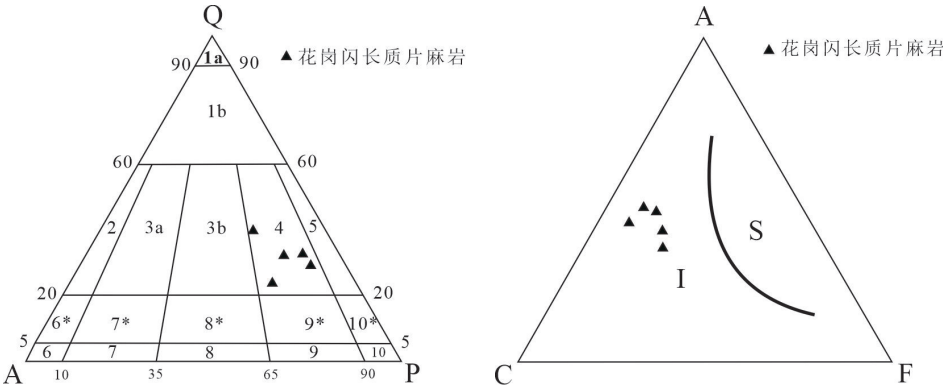


图7 花岗岩矿物含量QAP分类图解(左)和花岗岩成因类型ACF图解(右)
Fig.7 Diagrams of QAP (left) and discrimination diagram of ACF (right)

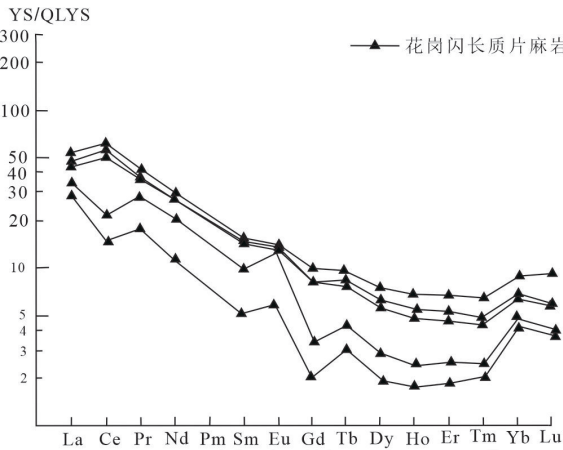


图8 河北怀安地区花岗闪长质片麻岩岩体
稀土元素配分曲线图
Fig.8 Chondrite-normalized REE patterns of the
granodioritic gneiss

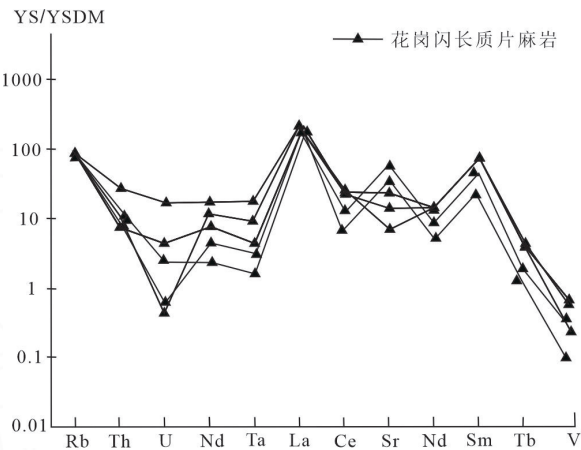


图9 河北怀安地区花岗闪长质片麻岩微量元素
原始地幔标准化蛛网图
Fig.9 The spider diagram of primitive mantle-
normalized trace elements of the granodioritic gneiss

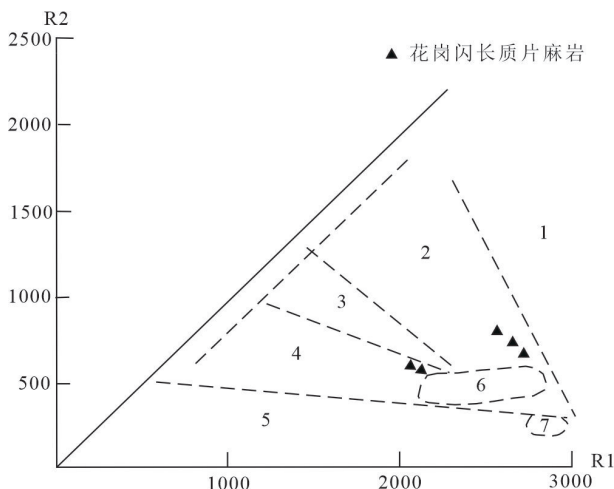


图10 主要花岗岩类岩石组合的示意图解
Fig.10 Schematic diagram of major granite rock assemblage

1.地幔分离;2.板块碰撞前的;3.碰撞后的抬升;4.造山晚期的;5.非造山的;6.同碰撞期的;7.造山期后

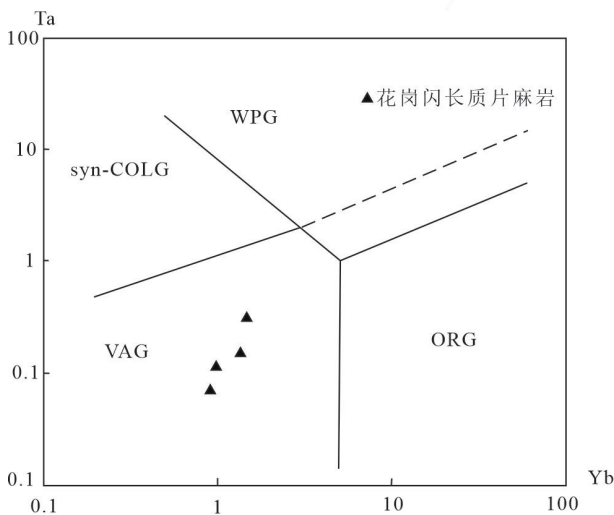


图11 不同类型花岗岩的Ta-Yb判别图
Fig.11 Tectonic discrimination diagrams of Ta vs. Yb
VAG. 火山弧花岗岩;WPG. 板内花岗岩;
syn-COLG. 同碰撞花岗岩;ORG. 洋脊花岗岩

5.3 地质意义

由于在怀安地区和承德地区先后发现有高压基性麻粒岩而受到广泛重视^[36-40],对其中的新太古代晚期的岩浆作用也开展了一定的工作,但相对五台山和恒山地区而言研究程度还相对较低。怀安地区的变质基底由涧沟河深变质绿岩区、怀安麻粒岩-片麻岩区、宣化-天镇钾质花岗岩带和丰镇孔兹岩区所组成^[41]。五台期的地质年龄时限大致为2 560 Ma~2 500 Ma。该时期本区处于俯冲(前碰撞)晚期阶段,主要为TTG岩系形成^[42]。该区内中酸性麻粒岩-片麻岩可

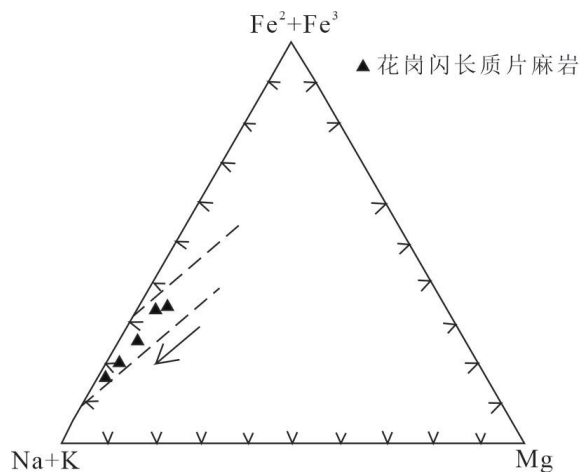


图12 花岗岩类超单元质量百分比图
Fig.12 The percentage of super unit mass of granite

达80%以上,其原岩为奥长花岗岩、英云闪长岩和花岗闪长岩(TTG),少量紫苏花岗岩,其中夹有少量变质表壳岩和基性麻粒岩。它们经历了多期变形改造,变质程度达到麻粒岩相^[43-44]。本文研究的花岗闪长质片麻岩LA-ICP-MS锆石岩浆年龄为2 551 Ma,属于新太古代五台期,同时该岩石的构造环境分析同样也与该时期的构造阶段相吻合,与华北克拉通晚太古代末-古元古代初的岩浆事件相对应。

6 结论

(1)花岗闪长质片麻岩的结晶年龄为2 551 Ma,形成于五台运动中期。

(2)花岗闪长质片麻岩属于钙碱性系列花岗岩,形成于洋壳俯冲过程中的岩浆弧构造环境。

(3)花岗闪长质片麻岩富碱富硅贫镁贫钙,稀土配分曲线显示Ce负异常,Eu异常不明显,重稀土有下降趋势,而轻稀土有上升趋势。富含La、Rb、Sm元素,而亏损Ce、Ta、U、Nd、V元素。该花岗闪长质片麻岩岩体岩浆结晶分异程度不高,且后期极有可能在弱酸条件下形成的。对于认识地壳的演化、增生和再造具有重要的意义。

致谢:参与本文工作的还有王卫国、郝连成、冯永财等同志,成文过程中得到了赵凤清研究员和王志军高工等的指导和帮助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 万渝生.最古老陆壳是如何形成的? [J].地球科学,2022,47(10):3776-3778.
- [2] 吴鸣谦,左梦璐,张德会,等.TTG岩套的成因及其形成环

- 境[J].地质论评,2014,60(3):503-514.
- [3] CONDIE K C. TTGs and adakites: Are they both slab melts? [J]. *Lithos*, 2005, 80(1-4): 33-44.
- [4] 李江海, 钱祥麟, 侯贵廷, 等. “吕梁运动”新认识[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2000, 25(1): 15-20.
- [5] 刘成如, 刘立昂. “五台运动”对早前寒武纪地层划分的影响[J]. 华北自然资源, 2022(06): 58-61.
- [6] 翟明国, 郭敬辉, 赵太平. 新太古-古元古代华北陆块构造演化的研究进展[J]. 前寒武纪研究进展, 2001, 24(1): 17-27.
- [7] 翟明国. 华北克拉通 2.1~1.7 Ga 地质事件群的分解和构造意义探讨[J]. 岩石学报, 2004, 20(6): 1343-1354.
- [8] 康健丽, 王惠初, 肖志斌, 等. 华北克拉通新太古代地壳增生: 来自山西云中山地区 TTG 片麻岩和二长花岗岩片麻岩的证据[J]. 岩石学报, 2017, 33(09): 2881-2898.
- [9] 冯亚洲, 杨进辉在, 孙金凤, 等. 中生代古太平洋板块俯冲诱发华北克拉通破坏的物质记录[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(05): 651-662.
- [10] 吴昌华. 华北克拉通的变质沉积岩及其克拉通的构造划分[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 442-457.
- [11] 任云伟, 张家辉, 田辉, 等. 天镇-怀安地区新太古代末二长花岗岩的成因及动力背景[J]. 华北地质, 2022, 45(2): 76-86.
- [12] ZHAO G C, WILDE S A, CAWOOD P A and SUN M. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: Lithological, geochemical, structural and P-T path constraints and tectonic evolution[J]. *Precambrian Research*, 2001, 107(1-2): 45-73.
- [13] ZHAO G C, CAWOOD P A, WILDE S A and SUN M. Review of global 2.1~1.8 Ga orogens: Implications for a pre-Rodinia supercontinent[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 59(1-4): 125-162.
- [14] 邓晋福, 吴宗絮, 赵国春, 等. 华北地台前寒武花岗岩类、陆壳演化与克拉通形成[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 190-198.
- [15] 翟明国. 华北克拉通的形成以及早期板块构造[J]. 地质学报, 2012, 96(9): 1335-1349.
- [16] 张健, 李怀坤, 田辉. 华北克拉通南缘官道口群龙家园组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 华北地质, 2021, 44(4): 1-4.
- [17] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-29.
- [18] 耿元生, 沈其韩, 任留东, 等. 华北克拉通晚太古代末-古元古代初的岩浆事件及构造热体制[J]. 岩石学报, 2010, 26(7): 1945-1966.
- [19] STRECKEISEN A L. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: A provisional attempt[J]. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 1976, 1(1): 1-15.
- [20] CHAPPELL B W, WHITE A J R. Two contrasting granitic types[J]. *Pacific Geologist*, 1978, 1(1): 173-174.
- [21] BOYNTON W V. Geochemistry of the rare-earth elements: Meteorite studies[J]. *Geochem*, 1984, 2(1): 63-114.
- [22] MITTFELDEHLD D W, MILLER C K. Geochemistry of the Sweetwater Wash Pluton, California: Implications for "anomalous" trace element behavior during differentiation of felsic magmas[J]. *Cosmochimica Acta*, 1983, 47(1): 109-124.
- [23] DOSTAL J, CHATTERJEE A K. Origin of topaz-bearing and related peraluminous granites of the Late Devonian Davis Lake pluton, Nova Scotia, Canada: crystal versus fluid fractionation[J]. *Chemical Geology*, 1995, 123(1-4): 67-88.
- [24] PONADER C W, BROWN G E. Rare-earth elements in silicate glass melt systems, Interactions of La, Gd and Yb with halogens[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(11): 2905-2914.
- [25] OHLANDER B, BILLSTROM K, HALENIUS E. Behaviour of rare-earth elements in highly evolved granitic system: Evidence from Proterozoic molybdenite mineralized aplites and associated granites in northern Sweden[J]. *Lithos*, 1989, 23(4): 267-280.
- [26] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003, 201-203.
- [27] DOSTAL J, CHATTERJEE A K. Contrasting behaviour of Nb-Ta and Zr-Hf ratios in a peraluminous granitic pluton (Nova Scotia, Canada)[J]. *Chemical Geology*, 2000, 163(1-4): 207-218.
- [28] MCDONOUGH W F, SUN S S, RINGWOOD A E, et al. Potassium, rubidium, and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56(3): 1001-1012.
- [29] SNY P, GOAD B E, HAWTHORNE F C, et al. Fractionation trends of the Nb- and Ta-bearing oxid minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatitic aureole, south-eastern Manitoba[J]. *Amer Mineral*, 1986, 71(11): 501-517.
- [30] BATHELOP, PETER BOWDEN. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 1985, 48(1-4): 43-55.
- [31] PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock[J]. *Petrol*, 1984, 25(4): 956-983.
- [32] 郝连成, 王卫国, 胡延斌, 等. 冀西北怀安地区基底变质岩系构造变形序列研究[J]. 中国地质调查, 2018, 5(4): 57-66.
- [33] 刘富, 郭敬辉, 路孝平, 等. 华北克拉通 2.5 Ga 地壳生长事件的 Nd-Hf 同位素证据: 以怀安片麻岩地体为例[J]. 科学通报, 2009, 54(17): 2517-2526.
- [34] 张旗. 花岗岩岩浆能够结晶分离和演化吗?[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(2): 252-260.
- [35] WU BIN, LONG XIAOPING, ZHANG SHITAO, et al. Carboniferous variation of crustal thickness and subduction angles in Eastern Tianshan, NW China: evidence from the pet-

- rogenesis of the magmatic rocks in the Aqishan-Yamansu Belt[J]. International Geology Review, 2023, 5(65): 682-705.
- [36] 侯红星, 张蜀冀, 胡新苗, 等. 华北克拉通怀安县西洋河地区高压基性麻粒岩锆石 U-Pb 同位素年龄及地球化学特征[J]. 西北地质, 2022, 55(4): 240-254.
- [37] 邹东雅, 张宏福. 麻粒岩和辉石岩捕虏体记录的华北克拉通下地壳破坏过程[J]. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(02): 175-192.
- [38] 张家辉, 王惠初, 田辉, 等. 华北克拉通怀安杂岩中“MORB”型高压基性麻粒岩的成因及其构造意义[J]. 岩石学报, 2019, 35(11): 3506-3528.
- [39] 初航, 王惠初, 魏春景, 等. 华北北缘承德地区高压麻粒岩的变质演化历史—锆石年代学和地球化学证据[J]. 地球学报, 2012, 33(06): 977-987.
- [40] 魏颖, 郑建平, 苏玉平, 等. 怀安麻粒岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素: 华北北缘下地壳增生再造过程研究[J]. 岩石学报, 2013, 29(07): 2281-2294.
- [41] 郝光明, 颜强, 刘永顺, 等. 冀西北怀安杂岩的年代学、地球化学、Nd-Hf-O 同位素组成及其地质意义[J]. 地球科学, 2020, 45(09): 3353-3371.
- [42] 沈其韩, 耿元生, 杨崇辉, 等. 我国早前寒武纪地层研究的主要新进展[J]. 地层学杂志, 2004, 28(4): 289-297.
- [43] 王惠初, 张家辉, 任云伟, 等. 华北克拉通中北部麻粒岩带基础地质调查进展及相关问题讨论[J]. 华北地质, 2022, 45(1): 18-41.
- [44] 常青松, 施建荣, 张家辉, 等. 集宁地区古元古代基性麻粒岩两期变质事件的地质意义[J]. 华北地质, 2022, 45(2): 68-75.

Zirconage and geochemistry of granodioritic gneiss in Huai'an, Hebei province

HAN Mingyang, CAO Binhua*, ZHANG Lechong, MA Wei, LI Yachao

(Yantai Geological Survey Center of Coastal Zone, China Geological Survey, Yantai Shandong 264000, China)

Abstract: The northern and southern margin of the north China continent are widely distributed in the early Cambrian TTG system, which is the oldest known in the world. The geochemical characteristics of the early Cambrian rocks are quite different from the origins and Genesis. Therefore, it is of great significance to study the geochemical analysis Geochemical analysis and geochronology of granodioritic gneiss in Huai'an area, Hebei Province, and evolution, hyperplasia as well as reformation in the north China. The results show the LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope concordia diagram age is 2 551 Ma, indicated granodiorite rock body was formed in Early Paleoproterozoic Era. Granite. The intrusion is dominated by medium grained hypersthene Granodioritic gneiss. Their SiO₂ and total alkaline contents are in the ranges of 67.30% ~ 74.94% (average 70.94%) and 5.57% ~ 8.01% (average 6.37%), respectively. Most of rocks belong to peraluminous (average A / CNK=1.53) granite and generated in syncollisional setting. This intrusion is formed in a magmatic arc tectonic environment.

Key words: TTG rock series; Huai'an, Granodioritic gneiss; petrology; geochemistry; chronology