张宣地区太古代麻粒岩相变质岩的地球化学特征及其退变质作用

高 劢

（黄金指挥部·北京）

华北地台的结晶基底是我国最古老的变质岩系，主要分布于地台的北缘——吉林龙岗，辽宁抚顺、新金，河北迁西、迁安、张家口、宣化，北京密云，山西阳高，内蒙集宁、大青山一带。它们在太古代时期经受了深变质作用，形成一条近南北向的太古代麻粒岩相高级地体断续分布带，其中蕴藏着丰富的矿产资源。近年来，笔者在这一带的部分地区做过野外调查和室内研究工作，着重研究了退变质作用问题，并获得了一些成果[1~5]。

地质背景

张宣地区太古界桑干群自下而上划分为涧沟组(Arj)、化家营组(Arh)、水地庄组(Arsh)和西葛峪组(Arx)。研究样品主要采自前两组，分别代表退变质作用强烈和高级变质麻粒岩相残体保留较多的地带。

本区地层为一套经受了深变质和强烈混合岩化的古老变质岩系，其变质程度普遍达到麻粒岩相，后期有些地区因遭受明显的退变质作用而由麻粒岩相退变到角闪岩相、绿帘角闪岩相乃至绿片岩相。

前寒武纪高级麻粒岩的退变质作用是一种常见现象，目前对其地球化学研究尚少。我们获得的本区Rb—Sr等时线年龄表明，麻粒岩相的退变质作用发生在2800Ma左右[3]；退变角闪岩的退变作用可能与1600～1800Ma发生的地质事件有关。

麻粒岩相岩石的退变现象，无论在野外还是室内都可以辨认。在野外，它们常呈厚层状，也有的呈脉状、凸镜状或规模达几平方米的“残骸”状团块产出。呈脉状时，常可见到麻粒岩相向角闪岩退变的渐变过渡关系。如有大面积角闪岩相岩石存在，则可见到麻粒岩相岩石犹如叶叶小舟，飘浮在角闪岩相岩石的汪洋之中，这是退变质作用不彻底所致。镜下麻粒岩相矿物残体被退变矿物包绕，有的完全被其取代，这是退变质作用的可靠证据。

岩石学特征

1. 未受退变质影响的麻粒岩

（1）暗色麻粒岩：等粒状花岗变晶结构，主要由紫苏辉石＋单斜辉石＋石榴石＋斜长石±角闪石组成。典型样品为K82040-1。CIPW矿物计算，磷灰石含量较少，透辉石含量较多。矿物接触界面平直，可见三角点结构，系高温时共同结晶的。斜长石表面干净，双晶清晰可见。石榴石多为浑圆状，当有角闪石存在时，其多色性明显。

（2）浅色麻粒岩：以叶片状、片麻状结构为主。浅色矿物含量＞80%，主要是斜长石＋钾长石＋石英。暗色矿物包括角闪石＋透辉石＋黑云母＋铁矿物±石榴石±紫苏辉石。典型样品为K82067。CIPW标准矿物计算，钾长石含量45%，斜长石41.7%，与实际矿物含量颇相符。含水矿物较少，基本上代表进变质麻粒岩相变质作用的产物。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

张宣地区岩石化学成分和矿物成分（%）　　表 1

岩石名称	斜长辉石角闪岩	石榴斜长二辉麻粒岩	石榴斜长二辉麻粒岩	石榴斜长透辉角闪岩	斜长透辉麻粒岩	角闪斜长透辉岩	石榴角闪斜长辉石麻粒岩	石榴辉石斜长角闪岩	含石榴单斜辉石斜长角闪岩	石榴角闪斜长辉石麻粒岩	退变辉石二长麻粒岩	辉石二长麻粒岩
样品号	K82009	K82038	K82069	K82118	K82148	K82229	K82040-1	K82040-2	K82040-4	K82040-5	K82086	K82067
SiO_2	47.92	47.60	51.80	47.48	48.38	48.48	51.06	50.82	49.08	50.09	71.06	62.30
Al_2O_3	14.59	13.11	13.76	14.44	13.50	12.19	12.93	13.18	13.08	12.93	14.44	18.35
Fe_2O_3	2.79	2.71	3.25	2.60	7.15	9.64	4.71	6.32	3.01	5.03	1.24	2.57
FeO	6.19	12.36	9.63	9.90	8.91	7.87	9.84	8.26	10.56	9.38	1.40	1.51
TiO_2	0.68	1.42	1.32	0.91	2.26	1.73	1.16	1.16	1.32	1.22	0.36	0.50
CaO	10.84	10.67	9.98	11.18	7.51	8.13	9.91	8.29	7.90	9.84	1.39	1.35
MgO	9.54	7.19	5.62	8.00	4.84	5.52	5.51	5.31	7.06	5.47	0.28	0.61
K_2O	1.64	0.68	0.80	0.92	0.97	1.80	0.60	0.92	1.30	0.74	5.89	7.68
Na_2O	2.60	2.32	2.60	1.64	2.77	2.36	2.52	2.38	2.08	2.49	3.19	4.20
MnO	0.16	0.26	0.17	0.22	0.20	0.24	0.19	0.19	0.22	0.19	0.03	0.04
S	0.01	0.01	—	0.01	—	0.05	—	—	0.02	—	—	0.01
P_2O_5	0.16	0.25	0.19	0.11	0.44	0.37	0.16	0.18	0.46	0.14	0.09	0.09
CO_2	0.73	0.49	—	0.72	—	0.49	—	—	0.91	—	—	0.30
H_2O	1.52	0.88	0.65	1.81	2.43	0.93	0.76	2.01	2.10	1.01	0.10	0.63
Cr_2O_3	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.00
总计	99.60	99.97	99.70	100.14	99.38	99.76	99.37	99.04	99.63	99.36	99.50	100.10
CIPW												
Ap	0.37	0.59	0.44	0.26	1.04	0.87	0.37	0.42	1.08	0.33	0.21	0.21
Il	1.29	2.69	2.50	1.72	4.29	3.28	2.20	2.20	2.50	2.31	0.68	2.94
Or	9.68	4.01	4.72	5.43	5.72	10.62	3.54	5.43	7.67	4.36	34.78	45.35
Ab	17.46	19.62	21.98	13.87	23.42	19.96	21.31	20.12	17.59	21.05	26.97	35.52
An	23.30	23.35	23.51	29.32	21.54	17.35	22.20	22.56	22.51	21.92	6.36	6.16
Mt	4.04	3.92	4.71	3.76	10.36	13.97	6.82	9.16	4.36	7.29	1.73	3.54
Di	23.67	23.27	20.12	20.88	10.69	16.61	21.46	14.26	11.49	21.43	—	—
Hy	—	10.42	17.17	15.46	13.94	9.88	15.73	14.64	27.04	14.47	1.70	3.54
Ol	14.84	10.70	—	6.68	—	—	—	—	—	—	—	—
Q	—	—	3.85	—	5.99	5.81	4.94	8.21	1.87	4.34	26.36	4.02
其他	2.44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	0.94

分析者：天津地质矿产研究所化验室。

2. 受变质作用影响的麻粒岩

（1）暗色麻粒岩：具多边形花岗变晶结构到片麻状结构，发育局部叶片状构造，系退变到角闪岩相所致。主要矿物为角闪石＋斜长石＋石英±单斜辉石±紫苏辉石±黑云母±石榴石±铁矿物。副矿物为磷灰石。浅色矿物和暗色矿物比例与CIPW标准矿物计算结果基本一致（表1）。大多数角闪石是退变质作用生成的，镜下为淡绿色，单斜辉石逐步被闪石矿物替代，并保留有残体。有的单斜辉石被低级矿物绿泥石环绕。石榴石颗粒大小不等，裂隙发育，裂隙和边缘处被暗化，可能是受退变质影响退铁形成的。有时石榴石被退变矿物绿泥石包绕，紫苏辉石颗粒残破，裂隙极多，矿物表面具铁染，有时退生出黑云母，表明它们曾一度处于麻粒岩相条件下。斜长石具绿泥石化、绿帘石化和绢云母化。代表性样品为K82009、K82069、K82118等。

（2）浅色麻粒岩：镜下观察，该类岩

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩与未经退变质的麻粒岩相岩石的矿物组合、结构构造基本一致，只是叶片构造更发育。矿物表面很脏，斜长石已绢云母化。代表性样品为K82086。CIPW标准矿物计算，石英含量较多，斜长石与钾长石含量相当。

张宣地区桑干群麻粒岩相变质作用的温压条件是利用矿物化学资料获得的。通过对含石榴斜长二辉麻粒岩、含石榴角闪斜长透辉岩和含石榴斜长角闪岩中矿物对的中心和边缘成分进行温度条件测算，得出中心温度、压力高于边缘，表现出一种退变趋向。中心代表麻粒岩结晶的温度和压力，分别为700～800℃和0.7～1.11 GPa；边缘代表退变质作用的温度和压力，分别为652～795℃和0.41～0.6GPa。

分析方法

主元素化学分析由天津地质矿产研究所采用湿法完成；Rb—Sr等时线年龄由该所用质谱同位素稀释法测定；Rb—Sr含量由冶金部天津地质研究院用X荧光光谱测定；稀土元素分量由中国地科院测试所用中子活化法测定。

地球化学

1. 主要元素地球化学特征

按扎瓦里茨基方法计算，大多数样品属正常系列，SiO_2弱饱和。少数为碱过饱和系列，SiO_2稍饱和，总趋势是Na_2O高于K_2O。随酸度增高，碱含量增加，CaO与MgO成正消长关系，并随碱度增加而减少。

采用岩石化学方法恢复原岩，本区变质岩均为正变质岩；用岩石化学图解法恢复火山岩系，表明它们属于中基性火山岩系，很可能是岛弧拉斑玄武岩系。

在AFM图上，绝大多数数据点落在拉斑玄武岩界内，个别落在钙碱性岩内（图1）。

2. 稀土元素地球化学特征

稀土元素分析结果列于表2。

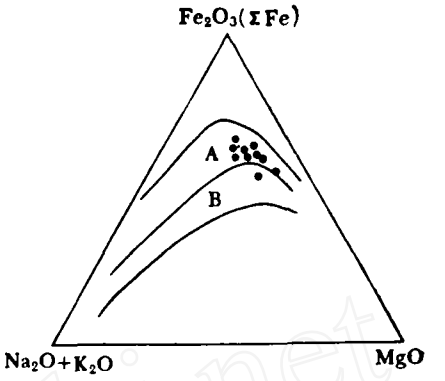

图1 Fe_2O_3—Na_2O+K_2O—MgO图解

A—拉斑玄武岩系；B—钙碱性岩系

图2中的9个样品均受到了不同程度的退变质作用，有的还相当严重，其共同特点是发生了不同程度的分馏作用，$(La/Yb)_N$的变化范围为1.67～10.96。具有轻稀土富集的分布图谱，显示明显的负Eu异常，Eu/Eu^* 0.344～0.855，平均0.628，表明斜长石分馏现象明显。MgO含量4.84～9.54%，说明含铁较低的岩石在麻粒岩相变质作用之前就发生了岩浆分异作用。稀土模式曲线一般是平行的，稀土元素含量随MgO含量降低而增高，表明这些岩石是由同一岩浆分异产生的。

图3是两个中酸性麻粒岩相样品，其中K82086为遭受强烈退变质作用的样品；它与K82067样品的岩性、矿物组合基本一致。未退变的K82067样品的$(La/Yb)_N$值为9.154，Eu不显示异常，$Eu/Eu^*=1.01$，而退变的K82086样品，稀土总量更富集，Eu显示明显负异常，$Eu/Eu^*=0.42$。轻、重稀土分馏更强烈，$(La/Yb)_N$值高达51.47，稀土含量与SiO_2含量成正消长关系，而与MgO含量呈负相关关系。可见，它们显然是同一母岩岩浆分异的产物，其差异看来不完全是分异的不同阶段造成的。镜下检查表明，这两个样品在麻粒岩相变质作用中受到的改造是一致的，产生了相同的矿物组合：

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

稀土元素分析结果（ppm） 表 2

样品号	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Lu	REE	LREE	HREE	$(La/Yb)_N$	Eu/Eu*
K82040-1	38.06	79.72	30.62	5.25	2.25	4.38	2.76	1.09	1.15	0.19	173.51	162.75	10.76	22.312	1.396
K82040-2	25.10	59.18	20.85	4.20	1.11	5.29	5.24	2.65	2.94	0.47	133.95	115.21	18.74	5.755	0.719
K82040-4	60.17	141.30	55.50	9.28	1.23	8.03	6.69	3.79	3.70	0.64	309.13	283.22	25.91	109.63	0.125
K82040-5	9.90	24.16	13.27	3.19	1.02	4.17	4.08	2.09	2.31	0.27	68.73	54.13	14.60	28.89	0.855
K82086	90.08	188.00	55.39	7.23	0.88	5.19	3.17	1.25	1.18	0.20	368.51	356.39	12.21	51.467	0.419
K82067	20.91	36.60	20.76	3.68	1.35	3.94	2.31	1.35	1.54	0.32	98.101	87.83	10.27	9.154	1.077
K82229	13.63	31.15	19.83	5.02	1.16	6.18	5.73	3.31	3.38	0.65	96.80	75.05	21.75	2.718	0.636
K82038	9.78	24.36	16.28	4.46	0.95	5.68	5.65	3.3	3.36	0.60	80.47	59.20	21.27	1.962	0.576
K82009	7.89	15.93	8.46	2.10	0.26	2.53	2.42	1.37	1.39	0.20	45.7	36.71	8.99	3.862	0.344
K82118	5.30	13.55	9.10	2.68	0.53	3.53	3.43	2.03	2.14	0.36	46.27	33.07	13.20	1.699	0.526
K82148	14.68	39.16	22.33	5.75	1.54	7.46	7.39	3.71	4.07	0.51	114.19	87.66	26.53	2.431	0.718
K82069	11.11	28.57	15.58	3.62	1.11	4.37	4.11	2.08	2.28	0.28	78.03	63.07	14.96	3.285	0.852

分析者：中国地质科学院测试所。

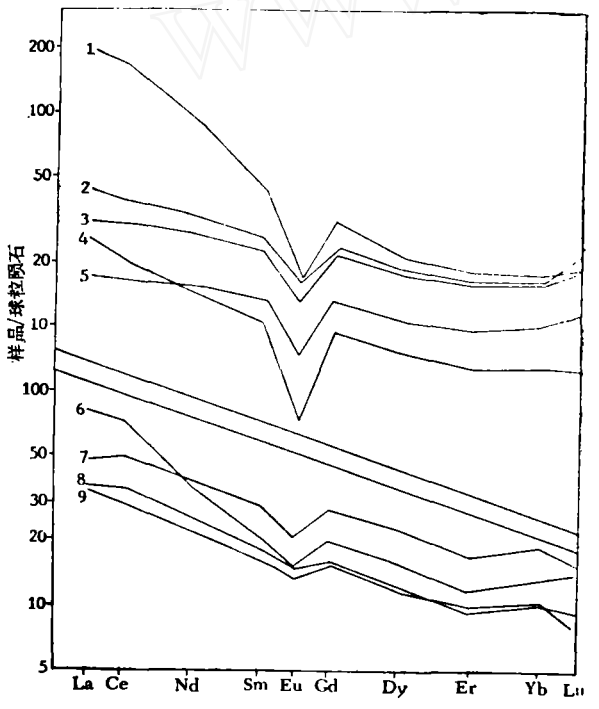

图 2 退变的基性麻粒岩稀土模式

1—K82040-1（MgO7.06，$SiO_2$49.02%）；2—K82229（MgO5.25，$SiO_2$48.48%）；3—K82038（MgO7.19，$SiO_2$47.8%）；4—K82009（MgO 9.54，$SiO_2$17.92%）；5—K82118（MgO 8.00，SiO_2 47.48%）；6—K20402-2（MgO5.31，$SiO_2$50.82%）；7—K82148（MgO4.81，SiO_2 43.38%）；8—82069（MgO5.62，$SiO_2$51.80%）；9—K82040-5（MgO5.47，$SiO_2$50.9%）

斜长石＋石英＋角闪石。K82086比K82067更为酸性。根据岩浆中稀土的变化可以推想，二者最初的稀土分布图谱应是平行的。由于麻粒岩相变质作用是在等化学条件下进行的，故它可能没有很大程度地破坏从岩浆岩继承下来的稀土图谱，即使发生改变也是等变的，不可能造成图中稀土图谱的相交。这很可能是更晚期的退变质作用所致。退变质作用中流体相的加入，造成了元素的活动性，新生了绿泥石、绿帘石、绢云母等含水矿物。

为了揭示退变质作用可能引起稀土元素变化的依据和规律，研究了如图 4 所示的一组样品。

K82040-2、K82040-4为麻粒岩退变生成的角闪岩。K82040-5为受退变质影响严重的麻粒岩，它保留了麻粒岩的结构特征和矿物组合。退变矿物沿麻粒岩矿物的边缘和裂隙丛生，退变到角闪岩相。K82040-1为未受退变质作用干扰的麻粒岩。除K82040-3为后期贯入的混合岩外，其余 4 个样均为太古代麻粒岩，其稀土图谱见图 5 。K82040-1与其他 3 个受退变质影响的样品的图谱截然分为两种类型，前者表现为轻、重稀土的明显分馏，$(La/Yb)_N$值为22.31，Eu显示正异常，$Eu/Eu^*=1.40$；其他 3 个样品的图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

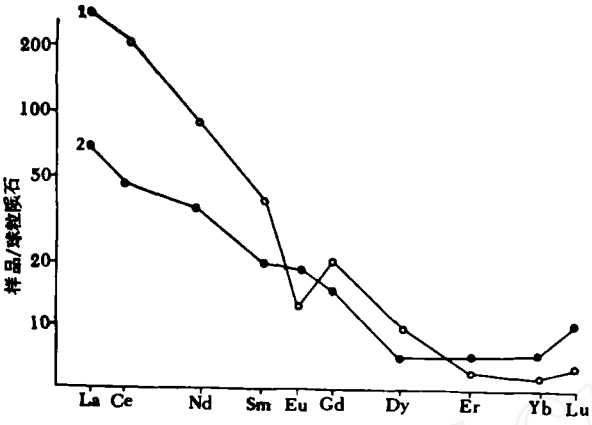

图 3 一组对退变与未退变浅色麻粒岩稀土模式

1—K82086样品；2—K82067样品

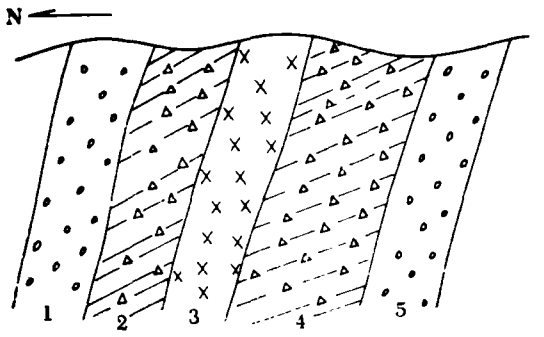

图 4 一组基性麻粒岩的野外产状

1—麻粒岩（K82040-1）；2—角闪岩（K82040-2）；3—混合岩（K82040-3）；4—角闪岩（K82040-4）；5—麻粒岩（K82040-5）

谱大致平行，SiO_2和MgO含量接近。这些特征表明，它们不仅是同源的，而且是同一母岩浆在大致同一分异演化阶段产生的。其共同特点是具有不同程度的Eu异常，$Eu/Eu^*=0.855\sim0.425$。

本区12个岩石样品的稀土分布特征表明，凡是受到退变质作用影响的样品，都具有Eu的负异常，而未受退变质影响的麻粒岩通常显示小到中等的正异常。受退变质作用影响的同类岩石的样品，其HREE普遍增高，有时ΣREE比未受退变质影响的岩石有富集的趋势，这和我们研究密云地区太古代密云群麻粒岩所得到的结果相一致[7]。

稀土元素地球化学与退变质作用的关系

密云地区所有麻粒岩都以具有分馏的稀土图谱为特征，而且总是富集轻稀土。正如一些研究者[6,8~10]所指出的那样，大多数太古代麻粒岩都具有轻稀土富集的模式。江博明等研究冀东太古代麻粒岩稀土特征时指出，绝大多数基性麻粒岩不显示明显的Eu异常[6]。

太古代基性麻粒岩Eu负异常不多见。研究退变质作用期间稀土模式的变化，对探讨岩石成因、元素的变化以及流体的来源与性质，是有意义的。

Collerson等[11]认为，由于重稀土在流体相（CO_2、卤素和H_2O）中较大的溶解能力和后期流体的搬运作用，稀土模式发生变化是可能的。Toylor等指出，轻稀土、中稀土主要溶于富Cl的流体中，而重稀土则溶于富F和CO_2的流体。

本区岩石的麻粒岩相变质作用基本上是在无水条件下进行的，故认为稀土分布没有受到明显的扰动，而退变质作用是在麻粒岩形成之后有流体涌入的情况下发生的，流体相可能含有CO_2、H_2O和卤素等混合物。退变质岩石中含水矿物体积百分数的增高，表明退变质流体中CO_2/H_2O值较低。这种流体相很可能是稀土等元素迁移的重要络合剂。与未退变的岩石相比，退变岩石亏损Eu，说明这种变化与退变质作用有关。

退变质作用过程的Rb和Sr

研究了两组岩石样品：一组为未退变的麻粒岩相岩石样品（9件），包括二辉麻粒岩、石榴斜长二辉麻粒岩、角闪透辉麻粒岩等；分一组为麻粒岩退变的角闪岩相岩石（10件），包括麻粒岩相到角闪岩相的过渡

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

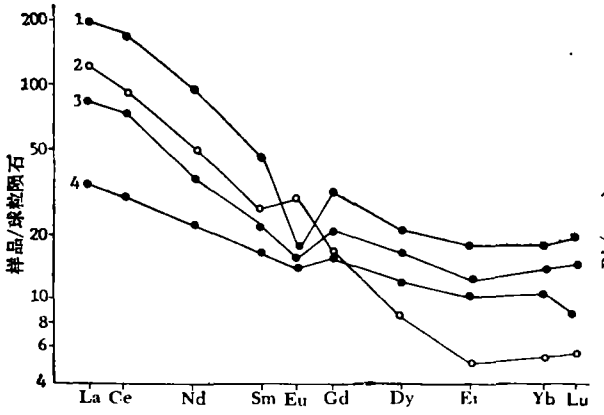

图 5 一组基性麻粒岩稀土模式

1—K 82040-4，$SiO_2$49.02%，MgO7.06%；2—K82040-1，$SiO_2$51.06%，MgO 5.51%；3—K82040-2，$SiO_2$50.82%，MgO5.31%；4—K82040-5，$SiO_2$50.9%，MgO5.47%

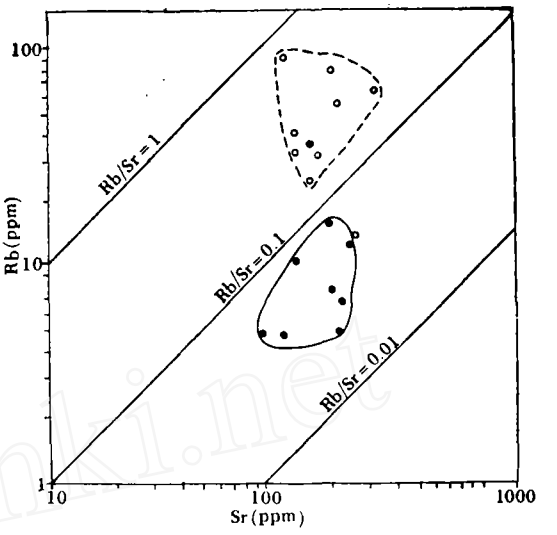

图 6 Rb-Sr分布图

○退变角闪岩；●未退变岩石

相，主要岩石为斜长角闪岩、角闪斜长透辉岩、含石榴斜长角闪岩等，有的还保留有麻粒岩相矿物残体。这两组样品具有亲缘关系。

X荧光光谱分析结果表明，两组样品的Rb和Sr含量明显不同（表3、图6）。绝大多数退变的角闪岩相岩石数据落在Rb/Sr＝0.1和1所限定的范围内，而未退变的岩石除1个点外，均落在Rb/Sr＝0.01和0.1范围内。

在变质作用过程中Sr不如Rb活动性大[6]。在麻粒岩相变质作用过程中，随着流体的排出，导致Rb极端亏损[16]。本区麻粒岩Rb含量5～38ppm，Rb/Sr多数在0.02～0.08，平均0.049，显示了低Rb的特征。

后来的退变质作用强烈改造麻粒相岩石，流体相带入了一定数量的Rb。由于Rb的离子半径（1.48Å）与K的离子半径（1.33Å）接近，故它可取代含钾矿物中的K离子。在退变质过程中，随着钾质交代作用的发生，必然带入一定数量的Rb，其带入量甚至比K更多。Field等[15]根据对挪威181个变基性岩K、Rb含量进行分析后发现，其含量从角闪岩相到麻粒岩相是降低的。他

退变与未退变岩石Rb、Sr含量（ppm）及Rb/Sr值 **表 3**

样品号	未退变岩石									
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	
Sr	203	203	166	99	226	253	120	218	143	
Rb	16	8	38	5	7	13	5	5	11	
Rb/Sr	0.08	0.04	0.23	0.05	0.03	0.05	0.04	0.02	0.08	
样品号	退变岩石									
	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
Sr	144	163	184	216	202	139	124	830	264	329
Rb	34	26	34	55	82	42	96	44	14	64
Rb/Sr	0.24	0.16	0.19	0.26	0.41	0.30	0.77	0.05	0.05	0.20

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

们认为辉长岩发生斜长角闪岩化时，或麻粒岩相叠加角闪岩相退变质作用后，带入了一定数量的K和Rb。本区角闪岩相岩石Rb含量26～96ppm，比麻粒岩相高半个数量级以上。Rb/Sr值多数在0.16～0.406之间，平均0.314，比麻粒岩相岩石高一个数量级。

由此可以认为，在退变质作用过程中，随着流体相的加入和交代作用的发生，Rb等亲石元素的含量发生变化；在K带入过程中，Sr可能有更多的带入。退变质作用中Sr含量变化不明显，它在麻粒岩相岩石退变前后基本保持不变（见表3）。

变质作用过程

用Rb-Sr法测得麻粒岩等时线年龄为2800Ma左右（图7）[3]，退变的角闪岩相岩石接近2000Ma或更晚。中国早寒武纪大面积麻粒岩相变质作用发生的时限被限定在2800Ma左右[18]。麻粒岩变质作用发生以后，在1800Ma左右，整个华北地台有一期非常普遍的热事件，它叠加在麻粒岩相变质岩之上，造成原来岩石的退变质，局部达到角闪岩相。在此之后又有更晚期、更低级退变质作用陆续发生，使大部分麻粒岩分布区达到角闪岩相或绿帘角闪岩相—绿片岩相。

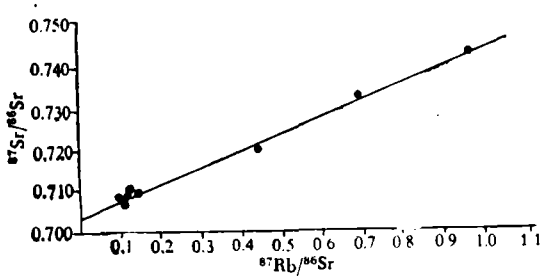

图7 未经退变的基性麻粒岩Rb-Sr等时线图
（$^{87}Sr/^{86}Sr = 0.703164 \pm 0.001015$ (2δ)；
$T = 2790 \pm 155$Ma

讨 论

张宣地区太古代基性麻粒岩MgO含量普遍偏低（0.28～9.54%），不可能是原始熔体的代表，而是经历了不同程度的结晶分异作用。其母熔体来自地幔。由于岩浆分馏作用（也可能是从母熔体继承下来的），这些岩石富集轻稀土。

Eu的负异常可能与后期作用、特别是退变质作用有关。退变质作用可导致稀土元素的活动性。Rb/Sr值可作为研究退变质的重要指标。

本区麻粒岩Rb-Sr等时线年龄和退变质作用年龄，是退变质作用的证据。

参 考 文 献

[1] 高励等，天津地质学会志，1987，第2期.

[2] 高励，天津地质矿产研究所所刊，1987，21号.

[3] 高励等，天津地质矿产研究所所刊，1987，19号.

[4] 高凡等，《二十七届国际地质大会学术交流论文集》（第3集），1983年.

[5] 高凡等，矿物岩石地球化学通讯，1987，第1期.

[6] 江博明等，中国地质科学院地质研究所所刊，1984，13号.

[7] 高励等，天津地质矿产研究所所刊，1986，21号.

[8] Weaver, B. L., Contrib. Mineral. Petrol., 1980, 71.

[9] Weaver, B. L., Earth Planet Sci. Lett., 1980, 51.

[10] Drury, S. A., Precambrian Res., 1978, 7.

[11] Collerson, K. D. et al., Contrib, Mineral Petrol., 1978, 67.

[12] Gree, T. H. et al., Geochem, Cosmochim Acta., 1972, 56.

[13] Sun D. Z. et al., The Archean Geology and Geochemistry in Eastern Hebei, Northrn China (Manuscript Presented to Second Int'l Archean Symp. at perth), 1980.

[14] 孙大中等，《冀东早前寒武纪地质》，天津科技出版社，1984年.

[15] Feild, D. et al., J. L. Geol. Soc. Land., 1972.

[16] 王凯怡，岩石学报，1986，第2期.

[17] Sheraton, J. W. et al., The Early Precambrian of Scotland and Related Rocks of Greenland, Houdsprint, 1973.

[18] 张秋生，中国早前寒武纪地质及成矿作用《国际地质合作计划》（第92项目），吉林人民出版社，1984.年.

[19] Taylor, S. R, et al., Phil. Trans. R. Soc Land, A301, 1981.

[20] Taylor, S. R. et al., Precambrian Plate Tectonics, Amstrdom, 1981.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net