

黑龙江鸡西盆地新生代玄武岩大地构造环境探讨

李超¹, 刘勇², 朱长海³, 赵寒冬^{1,4}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3. 黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查开发总院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 4. 黑龙江省地质调查研究院, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘要:鸡西盆地新生代玄武岩的岩石学、岩石化学和地球化学研究表明, 岩石中发育橄榄石包裹体, 且造岩矿物中也多含橄榄石晶体; $\delta\text{Eu}=0.87 \sim 0.94$ (大于 0.7), 具基性岩浆分异特征. 微量元素 Nb^* 值为 0.91 (接近 1), K^* 值为 1.09, 略大于 1, 表明岩浆与消减作用相关不大, 且有非地壳物质加入. 总体分析, 岩浆来源于上地幔, 上升过程中遭受了壳源物质的混染. 鸡西地区新生代玄武岩岩浆来源于上地幔, 是裂谷作用的产物, 为大陆裂谷型玄武岩, 其形成与敦密断裂在上新世的拉张活动有关.

关键词:鸡西盆地; 新生代玄武岩; 大陆裂谷; 黑龙江

1 引言

玄武岩是地球上分布最为广泛的火成岩之一, 它携带有大量的深部岩浆房信息. 其成分是否反映其形成时的地球动力学环境, 不同学者有不同的看法. 但多数学者认为, 形成于上地幔的玄武岩, 在侵入地壳的过程中受构造环境的控制, 故构造环境与玄武岩物质成分之间肯定有着某种必然的内在联系^[1]. 因此玄武岩在反演地幔物质成分、分析构造环境及岩石圈的深部动力学方面具有十分重要的意义.

黑龙江鸡西盆地新生代船底山组(Nc)玄武岩主要沿敦密断裂带呈 NNE 向展布, 受敦密断裂控制明显. 地貌上多形成席状、舌状、台地、平顶山、桌状山等奇景. 火山机构以串珠状、中心式、穹状火山为主. 火山岩相主要为溢流相, 少见碎屑流相及爆发-空落相. 火山地层最大厚度 200 余米, 多呈“熔岩被”形式盖在前新近系地层之上.

前人对本区玄武岩的研究多注重火山地层的划分和岩石学、矿物学特征的描述^[2], 而对火山机构类型、火山岩相以及细微的岩石化学特征所反映的深部信息研究较少, 尤其对其产出的构造环境争议较大. 本文综合研究鸡西盆地新生代玄武岩岩石化学、地球化学等特征, 并结合橄榄石、辉石包裹体特征研究, 阐述玄武岩的岩浆来源并探讨其产出的大地构造背景.

2 岩石学及地球化学特征

2.1 岩石学特征

(1)碱性橄榄玄武岩: 空间分布广泛, 呈灰、灰黑色或灰紫色, 斑状结构, 气孔状、块状及杏仁状构造. 斑晶主要为橄榄石及少量辉石. 橄榄石呈假象双锥粒状, 锥面柱状, 为绿泥石、石英、碳酸盐交代, 含量 4% ~ 5%; 单斜辉石为柱状, 浅褐色, 具砂钟构造, 含量 5% ~ 15%. 基质多显微粒状结构、间粒结构, 斜长石微晶呈流状、交错状排列, 并与辉石、橄榄石等紧密排列或充填. 基质中斜长石含量 20% ~ 70%, 辉石 20% ~ 40%, 橄榄石及磁铁矿 0.5% ~ 5%. 杏仁体不规则、细小, 且分布不均, 由石英、绿泥石或碳酸盐、绿泥石组成, 含量小于 10%.

(2)玄武质火山角砾岩: 角砾结构, 层状构造. 火山碎屑物为角砾和极少量集块, 经压实胶结成岩. 粒径多在 5 ~ 20 mm 之间, 成分以玄武质火山渣(浮岩)为主, 多呈不规则状, 略有压实变形, 可见橄榄石斑晶分布其中. 值得说明的是岩石中含橄榄石和单斜辉石包裹体以及歪长石巨晶, 也可见少量围岩捕虏体, 如砂岩等.

橄榄石包裹体呈绿色或黄绿色, 多形成 5 ~ 40 mm 大小的聚晶, 单个晶体在 0.5 ~ 3 mm 之间, 部分晶体具膝折带变形特征. 橄榄石斑晶和橄榄石包裹体电子探针分析结果(表 1)表明, 两类橄榄石的化学成分较接近, 但斑晶橄榄石中 FeO 含量明显偏高, 而 MgO 含量偏低, 斑晶橄榄石属透铁橄榄石, 包裹体橄榄石属贵橄

表 1 橄榄石电子探针分析结果
Table 1 Electron microprobe analysis of olivine

样品号	类型	氧化物含量 / %									以氧为 4 的阳离子数								CIPW 标准矿物
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Σ	Si	Al	Ti	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	Fo
HZ ₂ P ₃ DZ97	斑晶	39.68	0.1	0.06	20.5	0.17	39.08	0.3	0.03	99.92	1.021	0.002	0.002	0.441	0.004	1.498	0.008	0.001	66.11
HZ ₂ P ₁₈ DZ24	包裹体	39.92	0	0.04	12.5	0.16	47.22	0.07	0	99.91	0.992	0.001	0	0.26	0.003	1.749	0.002	0	82.60

数据来源于 1:25 万虎林市、虎头镇幅研究成果。

榄石. 即从包裹体橄榄石到斑晶橄榄石镁含量减少, 铁含量增加, 说明橄榄石包裹体较橄榄石斑晶来源深度大。

单斜辉石包体呈暗绿色, 聚晶大小均在 5 ~ 20 mm 之间, 最大可达 40 mm, 单个晶体多为 0.5 ~ 4 mm, 常与橄榄石包裹体和歪长石巨晶共生, 三者总含量不足

0.5%。根据单斜辉石斑晶和包裹体电子探针分析结果(表 2) 可见, 两者差异在于包裹体中 SiO₂、MgO、CaO 含量较高, 而斑晶中含 TiO₂、CrO₃, 且 Al₂O₃、FeO、MnO 含量较低, 即包体与斑晶相比富 Si、Mg、Ca 而贫 Al、Fe、Mn。

表 2 单斜辉石电子探针分析结果
Table 2 Electron microprobe analysis of clinopyroxene

序号	样品号	类型	氧化物含量 / %									
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CrO ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Σ
1	HZ ₂ P ₃ DZ97	斑晶	49.73	0.92	5.53	6.42	0.14	0.18	14.82	21.81	0.38	99.93
2	HZ ₂ P ₁₈ DZ9	包裹体	52.17	0	3.13	3.14	0	0.05	16.79	24.14	0.41	99.83

序号	以氧为 6 的阳离子数												CIPW 标准矿物		
	TSi	TAl	M ₁ Al	M ₁ Ti	M ₁ Fe ³	M ₁ Fe ²	M ₁ Cr	M ₁ Mg	M ₂ Fe ²	M ₂ Mn	M ₂ Ca	M ₂ Na	Wo	En	Fs
1	1.829	0.171	0.068	0.025	0.074	0.015	0.004	0.813	0.108	0.006	0.859	0.027	45.835	43.335	10.83
2	1.893	0.107	0.027	0	0	0.064	0	0.908	0.031	0.002	0.939	0.029	48.288	46.73	4.982

数据来源于 1:25 万虎林市、虎头镇幅研究成果。

歪长石巨晶为无色—白色, 大小多为 5 ~ 30 mm, 厚板状, 解理发育, 也可见膝折变形, 且与单斜辉石及橄榄石包裹体共生。该长石巨晶 Ab>Or, An=1.8, 与岩石化学成分中 Na₂O 含量大于 K₂O 是一致的, 为钠透长石类。

根据火山岩 TAS 图解(图 1), 鸡西地区玄武岩类型主要为碱玄岩、碧玄岩和粗面玄武岩, 部分表现为玄武安山岩的特征。总体上岩石具无斑或少量橄榄石和斜长石斑晶, 基质由微晶、隐晶的橄榄石、斜长石、辉石等组成。岩石气孔构造、绳状构造及岩流红顶绿底构造发育, 平面上显示“熔岩被”的特征。

2.2 岩石学、岩石化学及地球化学特征

岩石化学成分 SiO₂ 平均 48.14%, K₂O 为 1.3%, Na₂O 为 3.8%, 分异指数 31.79, 里特曼指数 15.88(大于 9)(表 3), 表明岩石为碱性系列。在硅碱图(图 2)中主要投入碱性玄武岩区, 个别落入亚碱性区, 总体为碱性玄武岩, 并以钠质较高为特点, 属深源的大陆碱性玄

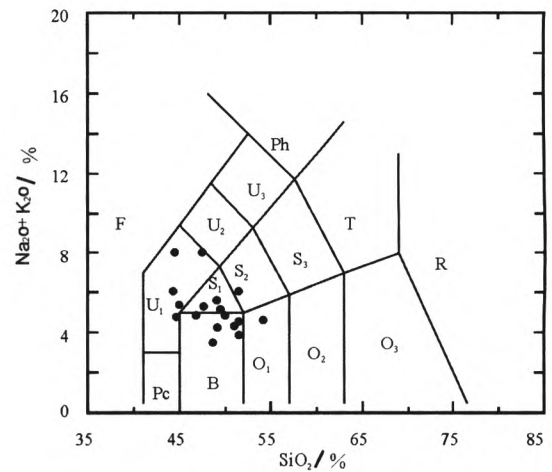


图 1 鸡西盆地新生代玄武岩 TAS 图解
(据 Le Maitre, 1989)

Fig. 1 TAS diagram of Cenozoic basalts in Jixi basin
(after Le Maitre, 1989)

U₁—碧玄岩和碱玄岩; S₁—粗面玄武岩
S₂—玄武粗安岩; B—玄武岩; O₁—玄武安山岩

表 3 新生代船底山组岩石化学分析一览表

Table 3 Chemical compositions and parameters of rocks from the Chuandishan formation

序号	样品号	岩石名称	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
1	C42271	玄武岩	48.49	1.98	15.86	7.04	6.94	0.13	7.29	8.32	2.55	0.99	0.42
2	C42245	粗面玄武岩	48.83	2.26	14.35	4.94	6.69	0.08	7.35	9.24	3.58	1.94	0.75
3	C45414	粗面玄武岩	47.86	2.39	15.36	4.43	7.47	0.18	7.87	8.41	4.33	1.14	0.56
4	C44131	玄武岩	49.42	1.41	15.96	7.45	4.17	0.18	8.66	8.18	3.48	0.83	0.25
5	C45446	粗面玄武岩	49.05	2.03	14.45	5.86	7.01	0.18	7.43	8.17	4.28	1.07	0.46
6	C45446	粗面玄武岩	49.49	1.52	16.89	2.92	7.54	0.15	7.69	8.52	4.04	1.01	0.23
7	C45443	粗面玄武岩	50.92	1.44	16.73	3.97	6.32	0.13	6.26	7.89	4.30	1.74	0.30
8	C45434	玄武岩	50.09	1.82	15.29	4.52	6.08	0.16	7.61	9.53	3.52	1.02	0.36
9	C45434	玄武岩	51.46	1.43	15.00	2.86	8.35	0.15	7.59	8.44	3.34	1.12	0.25
10	C45417	碧玄岩	44.82	2.21	13.98	4.61	8.32	0.18	10.55	9.53	3.39	1.85	0.56
11	C45417	碧玄岩	44.38	2.22	13.90	4.08	9.23	0.15	11.52	9.12	3.42	1.41	0.56
12	C45416	玄武安山岩	53.81	1.44	16.39	1.88	6.64	0.13	6.52	8.26	3.98	0.72	0.23
13	C45416	玄武安山岩	53.77	1.43	16.41	2.60	5.92	0.13	6.50	8.30	3.98	0.73	0.23
14	C45410	玄武岩	44.28	2.24	14.84	4.44	7.87	0.18	10.44	8.72	4.03	2.04	0.92
15	C45409	玄武岩	47.16	1.78	16.39	8.55	2.82	0.15	6.79	7.59	5.84	2.21	0.72
16	GS0664	碧玄岩	44.61	2.16	14.04	7.86	6.00	0.18	10.10	9.28	3.42	1.81	0.55
17	GS05433	玄武岩	50.93	1.60	14.52	3.09	7.70	0.13	8.32	8.79	3.42	1.25	0.25
18	GS05436	玄武岩	51.06	1.59	15.46	5.46	6.43	0.13	6.43	8.60	3.50	1.08	0.26
19	GS05437	玄武岩	49.57	1.93	15.10	5.72	6.18	0.15	7.26	8.87	3.42	1.34	0.45
20	GS05438	玄武岩	51.01	1.53	14.88	3.02	7.81	0.15	8.59	8.92	2.99	0.90	0.20
21	GS5001	玄武岩	46.77	0.87	14.21	6.28	7.56	0.15	10.39	8.52	3.03	1.92	0.30
22	GS5032	碧玄岩	44.13	1.08	15.40	9.87	5.00	0.21	7.03	8.40	5.65	2.30	0.93
平均			48.72	1.74	15.25	5.07	6.73	0.15	8.10	8.62	3.80	1.38	0.44

序号 1~15 样品数据来源于 1:25 万鹤岗市幅, 由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔地调分院实验室测试; 16~22 数据来源于 1:25 万虎林市、虎头市幅研究成果, 由黑龙江省地质调查研究总院哈尔滨分院实验室测试; 表中数据均为去水后重新计算数据. 含量单位: %.

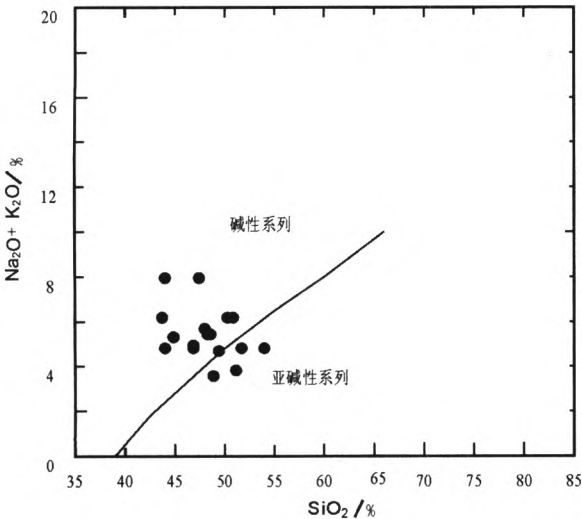


图 2 (Na₂O+K₂O)-SiO₂ 图解

Fig. 2 (Na₂O+K₂O)-SiO₂ diagram

玄武岩. 此与中国东部新生代火山岩的岩石系列为碱性玄武岩系列和拉斑玄武岩系列, 而无钙碱性玄武岩系列和钾玄岩系列是吻合的^[3].

3 岩浆来源及构造环境

岩石中发育橄榄石包裹体, 且造岩矿物中也多含橄榄石晶体, 表明岩浆来源于上地幔. $\delta E_u = 0.87 \sim 0.94$ (大于 0.7) (表 4), 具基性岩浆分异特征. 微量元素 Nb* 值 ($2Nb_N / (K_N + La_N)$, 地幔标准化值) 为 0.91 (接近 1)、K* 值 ($2K_N / (Ta_N + La_N)$, 地幔标准化值) 为 1.09, 略大于 1, 表明岩浆与消减作用相关不大, 且有非地壳物质加入.

岩石系列为碱性玄武岩系列, 稀土元素无 Eu 负异常 (图 3), 微量元素蛛网图上贫 Sr、K、Rb、Ba 等大离子元素, 而没有出现中生代火山岩常见典型的 Ti、Ta 低谷, 与典型板内碱性玄武岩微量元素特征相似^[3]. TiO₂ 含量较高, 接近 2%, 具有大陆裂谷型火山岩的特征, 也不同于与俯冲作用有关的火山岩 TiO₂ 通常低于 1.2% 的事实^[3]. 在微量元素构造环境 Nb-Zr-Y 及 Ti-Zr-Y 图解中 (图 4、5), 具有板内碱性玄武岩的特征. 表明新生代玄武岩形成于大陆板内构造环境.

表 4 船底山组微量元素及稀土元素分析结果表
Table 4 Abundances of REE and trace elements of basalt from the Chuandishan formation

样号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	δEu
C ₂ 2271	玄武岩	24.3	49.8	5.69	28.2	6.74	1.95	6.83	1.17	5.75	0.98	2.99	0.4	2.34	0.32	23.2	0.88
C ₂ 2245	粗面玄武岩	28.5	57.5	7.26	34.7	7.85	2.47	7.66	1.19	6.13	0.96	2.86	0.42	1.93	0.27	22.4	0.97
Xt5032	碧玄岩	79.6	127	14.5	66.7	16.2	3.78	9.35	1.4	7.02	1.03	2.12	0.2	1.2	0.17	20.8	0.87
P18xt6	碱性橄榄玄武岩	33.7	60.7	6.97	29.8	6.41	1.87	5.56	0.85	4.64	0.75	1.94	0.28	1.46	0.2	16.9	0.94
样号	岩石名称	Sr	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	Zr	Hf	Ti	Sc	Cr	Ni	Li	V	Be
C ₂ 2271	玄武岩	462	27	288	10.6	2.11	24.5	49.8	219	7.03	15800	28.6	50.7	-	-	-	-
C ₂ 2245	粗面玄武岩	927	27.6	365	11.5	2.54	35.4	57.5	267	7.54	16500	25.7	200	-	-	-	-
wl5032	碧玄岩	1370	39.6	330	8.91	5.8	90	-	340	8.9	-	10	41.2	76.2	13.1	170	4.4

样品 C₂2271、C₂2245 数据来源于 1:25 万鸡西市幅研究成果,其余数据来源于 1:25 万虎林市、虎头市幅研究成果. 样品测试单位:宜昌地质矿产研究所. 含量单位:10⁻⁶.

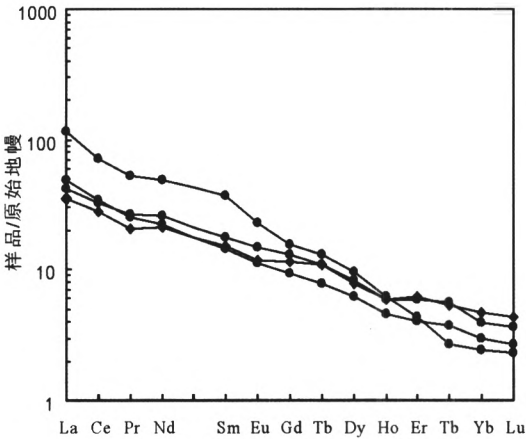


图 3 稀土模式曲线图
Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns

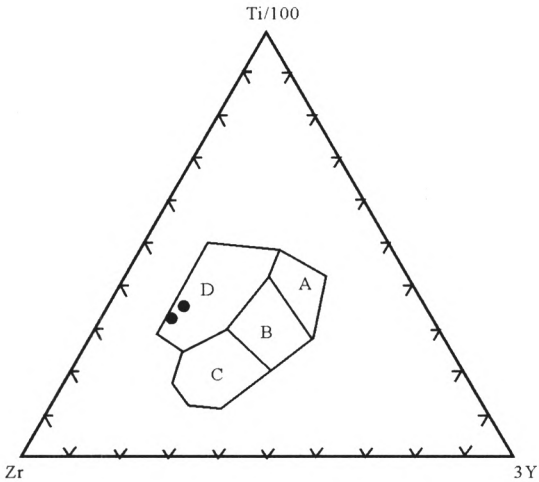


图 5 Ti-Zr-Y 图解
(据 Pearce, 1979)
Fig. 5 Ti-Zr-Y diagram
(after Pearce, 1986)

A—低钾拉斑玄武岩 (low-K tholeiite); B—洋中脊玄武岩 (mid-oceanic ridge basalt); C—火山弧玄武岩 (volcanic arc basalt); D—板内玄武岩 (within-plate basalt)

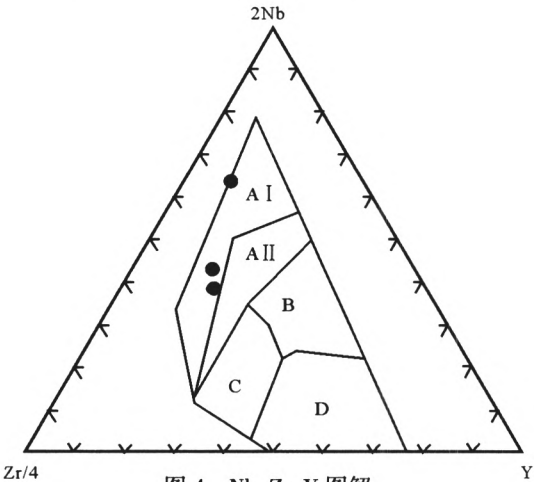


图 4 Nb-Zr-Y 图解
(据 Meschede, 1986)
Fig. 4 Nb-Zr-Y diagram
(after Meschede, 1986)

A I—板内碱性玄武岩 (within-plate alkaline basalt); A II—板内拉斑玄武岩 (within-plate tholeiite); B—P-MORB; C—N-MORB; C、D—火山弧玄武岩 (volcanic arc basalt)

4 结论

鸡西盆地新生代玄武岩是中国东部新生代火山岩的一个重要组成部分,岩石化学、地球化学特征表明,其与中国东部中生代具俯冲性质的钙碱性火山岩截然不同,也与中国东部新生代玄武质火山岩形成于俯冲环境的认识不同^[4],它是大陆裂谷作用的产物^[3],其火山活动的成生、演化主要与敦密断裂在上新世的拉张活动有关.

参考文献:

[1] 颜耀阳. 玄武岩的构造环境判别及其多解性分析[J]. 国外前寒武纪地质, 1994, 68(4): 71—75.

- [2]黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1993. (6):615—619.
- [3]赵海玲, 邓晋福, 陈发景, 等. 东北地区新生代火山作用、深部作用与大陆裂谷型盆地[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1996, 21
- [4]谢先军, 凌文黎. 中国东部中-新生代玄武质火山岩的主量元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(2):171—177.

TECTONIC ENVIRONMENT OF THE CENOZOIC BASALTS IN JIXI BASIN, HEILONGJIANG PROVINCE

LI Chao¹, LIU Yong², ZHU Chang-hai³, ZHAO Han-dong^{1,4}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 3. Qiqihar Institute of Mineral Resources Exploration and Development, Qiqihar 161006, Heilongjiang Province, China; 4. Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China)

Abstract: Study on the petrology, petrochemistry and geochemistry for the Cenozoic basalt in Jixi basin, Heilongjiang Province shows that olivine inclusions are developed in the rock. The olivine crystals are common among the rock-forming minerals. The δEu values of the basalt range from 0.87 to 0.94 (greater than 0.7), showing the characteristics of basic magmatic differentiation. The trace element Nb^* value ($2\text{Nb}_\text{N} / [\text{K}_\text{N} + \text{La}_\text{N}]$) is 0.91 (close to 1) and K^* value ($2\text{K}_\text{N} / [\text{Ta}_\text{N} + \text{La}_\text{N}]$) is 1.09 (slightly larger than 1), indicating that the magma is not closely related to the subduction, but with addition of non-crustal materials. In general, the magma originates from the upper mantle, with contamination of crustal materials in the process of uplifting. The Jixi Cenozoic basalt magma is the product of rifting, derived from upper mantle, belonging to continental rift basalts. Its forming is related to the extension of the Dun-Mi fault in Pliocene.

Key words: Jixi basin; Cenozoic basalt; continental rift; Heilongjiang Province

作者简介: 李超(1987—), 男, 中国地质大学(北京)地质学专业在校本科生, 通信地址 北京市海淀区学院路29号 中国地质大学, E-mail//32781912cug@sina.com