

富Nb玄武岩在冀北前寒武纪地区的发现

王仁民¹, 凤永刚¹, 程素华²

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871;
2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京)

摘要: 在冀北太古代麻粒岩带与北侧的古元古代红旗营子群之间, 沿古断裂带存在一系列古洋壳残片。最近发现其中广泛存在在其它地区罕见的富Nb玄武岩, Nb含量大于 7×10^{-6} , Nb/Th+Nb/La大于0.6, 为古洋壳的厘定提供了新的佐证, 为早前寒武纪地质构造演化研究提供了重要信息。

关键词: 富Nb玄武岩; 前寒武纪; 冀北

中图分类号: P588.145

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493 (2007) 03-0458-05

1 地质背景

2005年在杭州举行的全国岩石学与地球动力学研讨会上, 作者曾发布了在北京北部发现的一块相对完整而巨大的古洋壳碎片(会议摘要, 271页)的研究信息。最近的研究表明, 该洋壳碎片规模比原来估计的还要大得多: 近东西向延伸在200 km以上, 如不包括南北两侧所夹持的中基性深成岩体, 古洋壳残片本身宽约2~3 km, 产状陡立。地质上正好处在华北太古代麻粒岩古陆核的北侧、大面积的古元古代红旗营子群的南侧, 是一长条名副其实的断片(图1)。以往的地质工作曾将其视作红旗营子群、单塔子群或者四合堂群的一部分, 实际上它不应作为任何“地层”单元, 而是一个独立的“构造单元”, 一个地质意义上的外来体(王仁民等, 2002)。

该“外来体”主要由包含橄长岩在内的超镁铁岩(陈强安和王方正, 1992)、堆晶辉石岩、作为主体的斜长角闪岩、硅质岩、大理岩和斜长花岗岩所组成。在这一地质体的范围内尚未发现任何中酸性火山岩和其它陆源碎屑岩, 而采金的古矿洞却有不少。宏观上使我们得到一个古洋壳的总体印象。

由于该地质体处在一总体NWW走向的大断

裂带之内, 其剖面的走向更接近东西向, 并与断裂带走向存在一个小的夹角, 所以断裂带内的东南段出露的是古洋壳残片的下部, 超镁铁岩体较多, 硅质岩很少; 而断裂带内的西北段出露的便是古洋壳的上部, 硅质岩和大理岩较多, 超镁铁质岩石却很少。

断裂带南侧的怀安群、密云群等太古代麻粒岩古陆核大体上呈NNE走向, 在北边被断裂带截断。断裂带北侧大面积分布的古元古代红旗营子群是以副变质岩为主的陆源沉积盆地。二者之间现在看来存在一系列不同年龄的古洋壳残片。

作者曾推测(王仁民等, 2002), 其中最老的洋壳应分布在南部, 这些古洋壳从古元古代开始直到古生代有逐步向北后退发育的特点。后期的俯冲作用对于先前的洋壳残片有影响, 这应当是不言而喻的事情。

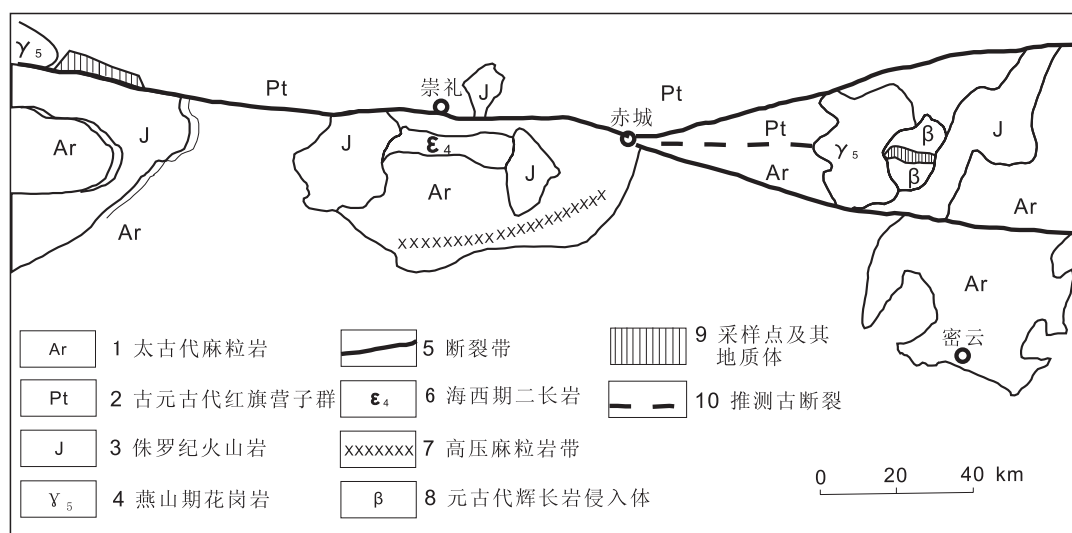
2 岩石地球化学特征

上述古洋壳残片的系统研究尚在进行中, 本文着重报道其中一种罕见的岩石: 富Nb玄武岩。据现有研究所知, 原始地幔中Nb的含量极低, 大约只有 0.6×10^{-6} 。一般的玄武岩Nb含量不过 $(2 \sim 3) \times 10^{-6}$, 碱性玄武岩含Nb较高。然而近年来人们注意到一种非碱性的含Nb $> 7 \times 10^{-6}$ 的玄武岩,

收稿日期: 2007-05-07; 修回日期: 2007-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472096)

作者简介: 王仁民, 男, 教授, 岩石学专业, 长期从事变质岩石学与前寒武纪地质学的教学和研究工作; E-mail: w_wang@263.net



1-Archean granulite; 2-Proterozoic Hongqiyinzi group; 3-Jurassic lava; 4-Yanshanian granite;
5-Fracture zone; 6-Variscan monzonite; 7-High pressure granulite belt;
8-Proterozoic gabbro intrusion; 9-Sample locations; 10-Presumed ancient fault.

图1 冀北富Nb玄武岩采样点附近地质略图

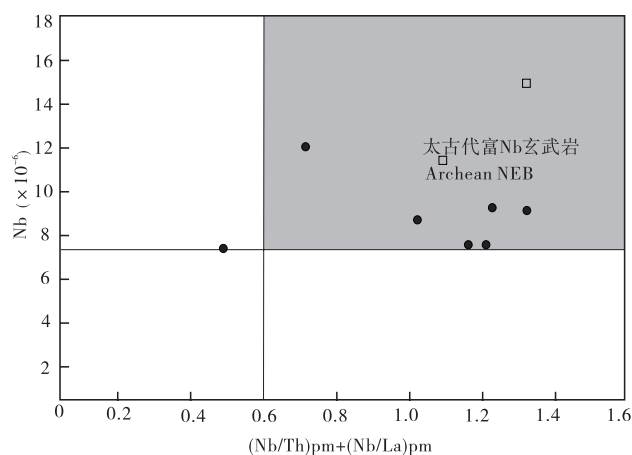
Fig. 1 Geological sketch of the Nb-enriched basalts samples in the North Hebei Province

可称为富Nb玄武岩 (NEB) (Polat and Kerrich, 2001), 它们的特征和成因正受到国内外同行们的广泛关注 (Ujike et al, 2007)。

表1和图2可以显示作者所发现的富Nb玄武岩的基本特征。它们与非富Nb的一般大洋低钾拉斑玄武岩密切共生, 二者难以区分, 在测试样品的数量概率上二者也平分秋色, 但富Nb玄武岩的最大特征是Nb含量高 $[(7 \sim 15) \times 10^{-6}]$, 与非富Nb玄武岩有明显的分野。一般说来, 富Nb玄武岩中, 通常Zr、Th和La也较高, 而MgO较低 (Ujike et al, 2007); 同时Ujike et al (2007) 还认为其Ti亦较低; 但本文的资料并不支持这一点, 因此对该类玄武岩地球化学特征的研究尚待深入。

富Nb玄武岩中多数也富La、Ce等轻稀土元素, 也就是说相当于前寒武纪地质学中所谓TH2, 或称E-MORB, EAT, 富Nb玄武岩只富Nb不富Ta区别于后者, 但它们都与TH1 (DAT) 密切共生, 笔者曾初步探讨过这个问题 (王仁民等, 1997)。对富Nb玄武岩的研究也许能为长期悬而未决的TH1和TH2的共生问题开辟一个新的思路。

这里需要强调一点: 对富Nb玄武岩的判定应持慎重的态度。Nb/Ta比一般应在15以上, 以往的测试结果Nb、Ta普遍较高, 比值不符, 这样的结果用来判定是不可采信的。



□ Northern Pickle Lake富Nb玄武岩; ● 冀北富Nb玄武岩
(NEB from the Northern Pickle Lake) (NEB from the North Hebei Province)

图2 冀北前寒武富Nb玄武岩

Fig. 2 The Precambrian Nb-enriched basalts in the North Hebei Province

3 富Nb玄武岩的成因问题

富Nb玄武岩出现了高场强元素等的异常, 使许多判别成因图解均无法适用, 故富Nb玄武岩的成因至今尚无最后的定论。

目前富Nb玄武岩主要发现于加拿大 (Hollings and Kerrich, 2000; Hollings, 2002; Wyman, 2000; Polat and Kerrich, 2001; Ujike and Goodwin, 2003; Ujike et al., 2007)、西澳 (Smithies et al, 2005) 和印度的部分太古代绿岩带之中 (Manikyamaba

表1 冀北前寒武纪富Nb玄武岩主量(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 1 Major and trace elements abundance for the Nb-enriched basalts in the North Hebei Province

元素	60901-3-2	60901-5	60902-6	60903-1	60905-2	50823-3	50826-1	GPT88-7A	GPT88-7B
SiO ₂	53.32	51.55	50.08	47.91	54.20	48.3	44.4	51.94	50.61
TiO ₂	1.51	1.67	0.53	1.03	1.41	0.68	1.3	1.36	1.5
Al ₂ O ₃	14.20	12.57	11.06	19.29	16.41	20	20.8	14.46	13.5
Fe ₂ O ₃ [†]	11.95	16.13	14.87	10.58	6.79	10.405	10.904	14.57	16.25
MnO	0.24	0.21	0.55	0.14	0.08	0.2	0.17	0.22	0.18
MgO	5.72	4.61	2.10	4.47	3.59	3.44	3.92	3.53	3.69
CaO	8.48	7.97	17.15	8.72	5.98	7.08	6.12	7.91	10.34
Na ₂ O	1.58	2.59	1.98	3.79	4.63	4.12	2.48	4.19	3.73
K ₂ O	0.70	1.01	0.26	1.24	3.91	2.13	4.57	1.65	0.03
P ₂ O ₅	0.15	0.24	0.11	0.61	1.11	0.75	0.53	0.18	0.16
LOI	1.62	1.23	1.05	1.68	1.38	2.4	4.44	11.48	10.49
Mg#	0.487	0.362	0.219	0.456	0.512	0.396	0.416	0.35	0.33
Sc	40.6	44.5	11	21.2	11.9	11.2	2.1	20.08	22.05
V	284	342	79.1	183	128	121	10.7	195	184
Cr	208	28.3	31.3	47	47.1	6.38	21.3	26	42
Co	42.8	37.4	28	19.6	18.1	19.1	3.01	45	59
Ni	112	35.5	56.1	28.4	34	4.99	11.6	54	68
Rb	20.4	24.1	3.94	15.1	64.2	61.5	109	42.23	1.03
Sr	210	224	365	1519	3357	1499	176	361	512
Y	31.3	34.3	15.2	17.2	17.2	21.1	3.19	13.29	20.48
Zr	113	110	106	61.1	100	65.2	95.5	135.65	150.48
Nb	7.35	9.55	9.38	7.31	13.2	8.1	8.9	12.35	15.64
Cs	2.19	2.42	2.98	0.325	1.1	nd	nd	0.55	0.19
Ba	185	1311	173	830	2095	1679	710	352	18
Hf	2.89	2.9	2.51	1.68	2.28	1.33	3.16	3.8	3.25
Ta	0.437	0.452	0.557	0.24	0.468	0.377	1	0.84	0.84
Th	2.72	1.85	3.17	0.852	2.55	2.67	19.8	2.88	2.78
U	0.73	1.14	3.39	0.22	0.51	0.661	3.05	0.51	0.49
La	8.13	14.3	9.01	32.1	100	40.1	8.52	21.8	22.27
Ce	19.6	33.9	17.3	64.4	173	90.4	16	43.74	50.29
Pr	3.12	5.22	2.39	8.4	23.2	10.8	1.64	5.68	5.9
Nd	14.3	22.7	9.71	33.4	88.1	44.2	5.27	23.3	24.87
Sm	4.24	5.34	2.33	5.55	13.1	7.86	0.871	4.69	5.47
Eu	1.34	1.76	0.668	1.94	3.69	2.5	0.303	1.39	1.49
Gd	5.34	6.39	2.6	4.9	9.11	6.99	0.864	4.3	4.67
Tb	0.951	1.06	0.44	0.617	0.921	0.864	0.098	0.61	0.62
Dy	5.76	6.35	2.53	3.3	3.9	4.26	0.538	2.81	3.91
Ho	1.22	1.31	0.505	0.628	0.622	0.824	0.105	0.64	0.73
Er	3.58	3.89	1.49	1.75	1.58	2.22	0.339	1.6	2.09
Tm	0.527	0.565	0.23	0.242	0.189	0.337	0.054	0.27	0.3
Yb	3.39	3.59	1.57	1.57	1.04	1.9	0.408	2.06	2.04
Lu	0.512	0.526	0.256	0.227	0.144	0.307	0.07	0.29	0.3
(La/Yb) _n	1.72	2.86	4.12	14.67	68.97	15.14	14.98	7.58	7.82
(La/Sm) _n	1.24	1.73	2.50	3.73	4.93	3.29	6.31	3	2.63
(Gd/Yb) _n	1.30	1.47	1.37	2.58	7.25	3.04	1.75	1.73	1.89
(Eu/Eu*) _n	0.86	0.92	0.83	1.14	1.03	1.03	1.07	0.93	0.88
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	9.40	7.55	20.72	18.73	11.64	29.41	16.00	11.55	9.46
Zr/Hf	39.10	37.93	42.23	36.37	43.86	49.02	30.22	35.7	46.35
Zr/Y	3.61	3.21	6.97	3.55	5.81	3.09	29.94	10.21	7.35
(Th/La) _{pm}	2.70	1.05	2.84	0.21	0.21	0.54	18.78	1.07	1.01
(Nb/Th) _{pm}	0.32	0.62	0.35	1.02	0.62	0.36	0.05	0.51	0.67
(Nb/La) _{pm}	0.87	0.64	1.00	0.22	0.13	0.19	1.01	0.55	0.68
(Nb/Th) _{pm} + (Nb/La) _{pm}	1.193	1.259	1.356	1.242	0.744	0.556	1.060	1.06	1.35

Fe₂O₃[†]为全铁; nd表示未检测; GPT88-7A和GPT88-7B为Northern Pickle Lake 富Nb玄武岩样品编号(引自Hollings, 2002), 其它编号均为本文冀北样品。

and Khanna, 2006), 在俄罗斯东北波罗的也有报道 (Shchipansky et al, 2004)。它们常与镁安岩 (boninite) 和埃达克岩 (adakite) 伴生。这样的岩石组合一般出现于中新生代的会聚性板块边缘环境, 对中新生代该组合的成因观点自然便被移植到早前寒武纪的研究之中, 形成了一些大同小异的看法。

岛弧拉斑玄武岩的最大特征是高场强元素的亏损, 一种观点不顾高场强元素不亏损的事实, 仍强调富Nb玄武岩终归属于岛弧的岩石组合 (Hollings and Kerrich, 2000); 另一种观点强调地幔柱活动与俯冲作用的耦合 (Wyman, 2000); 而更多的人则强调地幔楔源区的交代作用 (Polat and Kerrich, 2001; Ujike et al, 2007; Dilek and Polat, 2006)。对后面这一观点可以简单地归纳如下: 一个已经过萃取后变得高度难熔的地幔楔受到俯冲而衍生的流体的交代作用, 此种不均一的地幔楔再产生第二阶段的高温低压的原生液体, 而大洋拉斑玄武岩熔浆受到该原生液体淋滤后的残渣, 便可以形成富Nb玄武岩。简单来说, 就是形成于多次俯冲的地区并被改造了的俯冲带中。还有人发现镁安岩并不和富Nb玄武岩伴生, 相反却伴有贫Nb和贫Zr的玄武岩, 代表洋内俯冲环境 (Manikyamaba and Khanna, 2006)。

作者在冀北发现的富Nb玄武岩既不在绿岩带内, 也不与镁安岩、埃达克岩伴生, 我国太古代绿岩带尚未见有报道, 以上成因观点只能作为参考。相比而言, 第三种观点中相当于第二次俯冲作用对先前古洋壳的叠加影响, 倒是比较符合本研究的发现, 也对我国富Nb玄武岩的成因研究有较大的启迪。无论如何, 富Nb玄武岩的发现对我们先前所厘定的古洋壳残片提供了一个新的有利的证据。在高压麻粒岩带的时代和环境等问题的研究方面也将会产生新的启示。

4 时代问题

本文报道的有关古洋壳残片的形成时代研究工作, 限于条件目前尚未展开。1994年中国地质大学区调所对此曾用锆石U-Pb法获得过 $2\,507 \pm 58$ Ma的年龄资料; 1999年北京区调一队用锆石Pb-Pb法, 对该岩体测得结果为 $2\,363 \pm 4$ Ma。作者结合

地质情况观察, 认为后一个年龄更为可信。1992年刘宇光等对该区斜长花岗岩做了结果为 $2\,408 \pm 40$ Ma的U-Pb一致线的上交点年龄 (赵宗溥等, 1993), 由此我们对上述古洋壳暂推测为古元古代的产物, 而其中富Nb玄武岩的侵位时间应当更晚一点。

参考文献 [References]:

- 陈强安, 王方正. 1992. 崇礼-赤城断裂带超镁铁岩岩石学特征及其地质意义. 矿物岩石学论丛, 8: 94-102.
- [Chen Qiang'an, Wang Fangzheng. 1992. Petrological characters and geological implications of ultramafic rocks in Chongli-Chicheng fracture belt. *Collection of Mineralogy and Petrology*, 8: 94-102. (in Chinese with English abstract)]
- Dilek Y, Polat A. 2006. Phanerozoic and Precambrian ophiolites: processes for oceanic crust generation through time in Earth history. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70: A141.
- Hollings P, Kerrich R. 2000. An Archean arc basalt-Nb-enriched basalt-adakite association: the 2.7 Ga Confederation assemblage of the Birch-Uchi greenstone belt, Superior Province. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 139: 208-226.
- Hollings P. 2002. Archean Nb-enriched basalts in the northern Superior Province. *Lithos*, 64: 1-14.
- Manikyamaba C, Khanna T. 2006. Crustal growth processes as illustrated by the Neoproterozoic intraoceanic magmatism from Gadeal greenstone belt, eastern Dharwar craton, India. *Gondwana Research*, doi: 10.1016/j.jgr. 2006. 07. 005.
- Polat A, Kerrich R. 2001. Magnesian andesites, Nb-enriched basalt-andesites, and adakites from late-Archean 2.7 Ga Wawa greenstone belts, Superior Province, Canada: implications for late Archean subduction zone petrogenetic processes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 141: 36-52.
- Shchipansky A A, Samsonov E V, Bibikova E V, et al. 2004. 2.8 Ga boninite-hosting partial suprasubduction zone ophiolite sequences from the North Karelian greenstone belt, NE Baltic Shield, Russia. // Kusky T M, ed. *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Amsterdam: Elsevier, pp.425-486.
- Smithies R H, Van Kranendonk M J, Champion D C. 2005. It started with a plume early Archean basaltic proto-continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 238: 284-297.
- Ujike O, Goodwin A M. 2003. Origin of Archean adakites and NEBA from the upper Keewatin assemblage, the Lake of the Woods greenstone belt, Western Wabigoon Subprovince. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, A503.
- Ujike O, Goodwin A, Schibata T. 2007. Geochemistry and origin of Archean volcanic rocks from the upper Keewatin assemblage (ca. 2.7 Ga) lake of the Woods greenstone belt, western Wabigoon Subprovince, Superior Province, Canada. *Island Arc*, 16: 191-208.
- Wyman D A, Ayer J A, Devanry J R. 2000. Niobium-enriched basalts from the Wabigoon subprovince, Canada: evidence for adakitic metasomatism above an Archean subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 179: 21-30.
- 王仁民, 陈珍珍, 赖兴运. 1997. 华北太古宙从地幔柱体制向板块

- 构造体制的转化. 地球科学——中国地质大学学报, 22: 317–321.
- [Wang Renmin, Chen Zhenzhen, Lai Xingyun. 1997. Archean geotectonic transition of systems from mantle plume to plate tectonics in North China. *Earth Science—J. China University of Geosciences*, 22: 317–321. (in Chinese with English abstract)]
- 王仁民, 倪志耀, 袁建平 等. 2002. 再论冀北古缝合带的证据. 岩石矿物学杂志, 21: 327–335.
- [Wang Renmin, Ni Zhiyao, Yuan Jianping, et al. 2002. More on the evidence of the Paleostylolitic zone in the northern Hebei Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 327–335. (in Chinese with English abstract)]
- 赵宗溥 等. 1993. 中朝准地台前寒武纪地壳演化. 北京: 科学出版社.
- [Zhao Zongpu et al. 1993. The Precambrian Crustal Evolution in Sino-Korea Paraplatform. Beijing: Science Press. (in Chinese)]

Discovery of the Precambrian Nb-Enriched Basalts in the Northern Hebei Province

WANG Ren-min¹, FENG Yong-gang¹, CHENG Su-hua²

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution of Ministry of Education,
School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: There are a series of ancient oceanic crust relics along the fracture belt between the Archean granulite belt and the Paleoproterozoic Hongqiyngzi group in the North Hebei Province. Recently we have found widespread Nb-enriched basalt ($Nb > 7 \times 10^{-6}$ and $Nb/Th+Nb/La > 0.6$) in this area, which is very rare in other regions. The discovery will provide powerful proof for distinguishing ancient oceanic crust and will also supply important information for the Precambrian geological and tectonic evolution.

Key words: Nb-enriched basalts; Precambrian; Northern Hebei Province