内蒙古大青山地区孔兹岩系中大理岩岩组的地球化学特征及原岩建造

毕明丽 路来君 赵庆英 刘正宏

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130000)

提要: 大理岩岩组是内蒙古大青山地区孔兹岩系 3 个岩组中最上部的一个岩组, 该岩组是一套富镁质的大理岩系, 以巨厚的、大面积分布的白云质大理岩的发育为特征, 底部有少量碎屑岩沉积, 矿物组成除白云石外, 普遍含蛇纹石化橄榄石、透辉石、金云母等一种或多种富镁硅酸盐矿物。岩石地球化学以富 CaO、MgO 和 LOI 为特征, 反映了碳酸盐岩的地球化学特征, CaO+MgO 含量达 44.96%以上, 且 CaO/MgO 比值较小(1.37~0.94), 其原岩应为一套碎屑含量极低的白云岩, 以化学沉积为主。原岩建造的沉积环境: 由初期的陆海过渡的三角洲相, 过渡到滨海- 浅海相, 最后到干燥气候条件下有障蔽岛相隔的封闭海盆相。构造环境也从亚稳定状态过渡到稳定构造环境, 表明该套变质沉积地层的原岩可能形成于被动大陆边缘, 但更类似于中元古界长城系、蓟县系这样的克拉通内裂陷槽或裂谷沉积。

关 键 词: 内蒙古; 大青山地区; 孔兹岩系; 大理岩岩组; 岩石地球化学特征; 原岩建造; 沉积环境

中图分类号: P588.31+3 文献标志码 A 文章编号 1000- 3657(2008)04- 0639- 09

内蒙古大青山地区是中国孔兹岩系的主要发育地区之一, 以往的研究者在此做了大量的研究工作。但是, 对于孔兹岩系中的其他岩石如钙硅酸盐、白云质大理岩研究较少。前人[1- 8]对于孔兹岩系的研究主要是通过孔兹岩系中富铝片麻岩原岩建造分析、原岩沉积物源区的风化成熟程度和地球化学方面的研究进行的, 而对作为孔兹岩系中的主要岩石组合之一钙硅酸盐岩组合(如钙硅酸盐、白云质大理岩等), 却研究得比较少。笔者将在对这套孔兹岩系地层层序确定的基础上, 根据白云质大理岩组的岩石组合、空间展布规律、岩石地球化学特征等的研究和对比, 系统地讨论这套大理岩组的原岩建造和形成环境。

1 区域地质背景

内蒙古大青山地区是华北克拉通北缘富含孔兹岩系[2,5,7- 9]的早前寒武纪变质杂岩发育地区之一, 以大面积前寒武纪变质地层的发育为特征, 并经历了多期次的变质变形改造, 具有十分复杂的构造形态。区内高级变质杂岩由各种不同类型的岩石组合组成, 既有构成孔兹岩系的乌拉山岩群上亚群各种变质沉积岩, 也有构成麻粒岩系和黑云角闪片麻岩系的兴和岩群和乌拉山岩群下亚群变质火山岩, 同时, 还有不同的变质深成岩和各种岩脉在变质作用的不同阶段侵位或形成。这些变质岩石及其矿物组合特征显示出十分复杂的变质作用历史。

根据野外及室内的岩石学工作, 笔者将乌拉山岩群划分为 4 个岩组, 分别为下部(片麻岩系)黑云角闪片麻岩岩组和上部(狭义孔兹岩系)榴云片麻岩岩组、透辉片麻岩岩组和大理岩岩组[9]。在地层层序中, 它们构成相应的岩性段。黑云角闪片麻岩岩组在研究区中部呈条带状广泛分布(图 1), 在西北部出露也较多。是位于兴和岩群麻粒岩系之上, 榴云片麻岩岩组之下的一套变质地层, 按岩石组合和原岩建造特征, 又将其分为上下两段: 下段以含石英辉石斜

收稿日期: 2008- 02- 25; 改回日期: 2008- 03- 26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572117)和中国地质调查局地质大调查项目(200113000021)资助。

作者简介: 毕明丽, 女, 1978 年生, 博士生, 数学地质专业, 主要从事地理信息及地质方面的研究; E- mail: juice.2006@163.com。

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



图 1 研究区内孔磁岩的 3 个岩组分布

Fig.1 Distribution of three rock groups in the khondalite series in the study area

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

长角闪岩、含石英碱长二长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云角闪二长片麻岩、黑云碱长- 二长片麻岩夹辉石磁铁石英岩, 总体岩貌呈灰黑色- 深灰色。局部仍保留着角闪岩- 角闪片麻岩- 黑云角闪片麻岩- 黑云片麻岩韵律。其原岩为中基性火山沉积夹硅铁沉积建造; 上段主要以黑云碱长长英片麻岩、黑云二长长英片麻岩、含黑云斜长长英片麻岩、角闪长英片麻岩为主, 总体岩貌呈浅灰色- 浅肉红色, 其原岩为中酸性夹中基性火山沉积建造及少量碎屑岩建造。

2　大理岩岩组的岩石组合、层序及岩石学特征

大理岩岩组以巨厚的、大面积分布的白云质大理岩为主, 底部含少量透辉石英岩、石墨片麻岩等。因此, 在讨论该岩组的岩石化学特征时, 将以白云质大理岩为主进行讨论。

2.1　大理岩岩组的岩石组合、层序

大理岩岩组 (Ar_2mb) 主要分布于研究区中部(图 1), 在石墨厂—桃儿沟—白云矿农场一带, 呈条带状与榴云片麻岩相伴产出; 在窑子湾、鸡灯湾、上达赖一带, 另外在庙沟等地, 多以规模不等的不规则团块状、透镜状和补丁状形式产出。

该岩组下部以厚层石英岩与浅肉红色长英质片麻岩互层, 中部为厚层金云蛇纹石化橄榄大理岩、含石墨大理岩夹薄层透闪石岩、薄层石墨片麻岩、石墨石英岩、含黑云碱长石英岩和薄层蛇纹石化橄榄大理岩(或薄层方解石蛇纹石化橄榄岩), 上部为厚层蛇纹石化橄榄大理岩、粗粒含方镁石金云橄榄大理岩、含榍石石英方柱透辉大理岩、厚层含石英大理岩, 从化学成分和岩相学特征上看, 该岩组是一套富镁的碳酸盐沉积建造, 厚度大于 600 m❶。

在区域上, 大理岩岩组常与榴云片麻岩岩组空间关系密切。在大理岩呈规则条带产出的沙得盖—毛家疙堵一带, 大理岩岩组构成一弧形向形的核部, 两侧对称地出现榴云片麻岩岩组的岩石; 在呈不规则团块状、透镜状分布的地区, 或多或少地有榴云片麻岩岩组的岩石产出, 只不过在这些地区榴云片麻岩岩组不如大理岩岩组出露广泛, 厚度也较小, 常呈不规则残块状或补丁状产出, 因而, 大理岩岩组在大部分地段与浅色片麻岩岩组接触, 也有部分与浅色麻粒岩岩组接触。实际上, 不论是露头还是在区域上, 大理岩岩组的岩石多呈规模不等的无根透镜体、不规则块体产于榴云片麻岩岩组、黑云角闪片麻岩岩组、浅色麻粒岩岩组组成的片麻杂岩中, 这种现象意味着大理岩岩组应是区内高级变质地层中最上部层位的一套地层。在后期改造较弱的地区或地段, 可见大理岩岩组以近水平界面覆盖在榴云片麻岩岩组之上。按上述各岩组间的叠置关系可以判定孔兹岩系岩组的层序排列自下至上为: 榴云片麻岩岩组, 透辉片麻岩岩组和大理岩岩组[10]。原岩建造自下而上表现为碎屑沉积建造—钙质碎屑沉积建造—碳酸盐沉积建造。

2.2　大理岩岩组岩石学特征

白云质大理岩, 呈灰白- 淡绿色, 矿物组成除白云石外, 普遍含蛇纹石化橄榄石、透辉石、金云母等一种或多种富镁硅酸盐矿物。含量一般在 10%～30%, 局部含有石墨。也间夹厚层状的纯白云石或石英白云质大理岩。中、粗粒状变晶结构为主, 部分伟晶化, 厚层状- 块状构造, 硅酸盐矿物含量变化可显示原始的成分层理- 变余层理构造。

2.3　大理岩岩组的岩石地球化学特征和原岩建造

白云质大理岩主要为白云石组成, 化学成分(表 1)以 CaO 和 MgO 为主, 其他氧化物含量较低(图 2)。CaO+MgO 含量为 44.96%~52.62%, CaO/MgO 比值较低(1.55~2.78)。其他成分含量也很少, 研究的样品中除 Al_2O_3 含量在 1%~2%外, 大部分含量都小于 1%, FeOT 含量均小于 1%, K_2O+Na_2O 除个别样品外, 也普遍小于 1%, TiO_2、MnO 含量除个别样品外, 含量分别为 0.01%~0.05%、0.005%~0.02%, 这些杂质成分的低含量意味着岩石中碎屑成分很少。SiO_2 含量变化为 6.27%~16.4%, 与杂质成分的含量无相关性, 表明岩石中的 SiO_2 属化学沉积。由此看来, 其原岩为硅质或纯白云岩为主, 少量为粘土质白云岩。与透辉片麻岩岩组中的透辉大理岩相比, 这些白云质大理岩除 CaO 含量与之相似外, 明显富 MgO、低 SiO_2、Al_2O_3、FeOT、TiO_2、MnO。说明二者的沉积环境发生了极大的变化。而色尔腾山岩群的一个大理岩样品与白云质大理岩的化学成分相似, 马家店群的大理岩则明显富钙贫镁(图 2)。除有一定的硅质沉积外, 这些白云质大理岩中的其他氧化物与河北

❶吉林大学大青山科研队所测量.

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

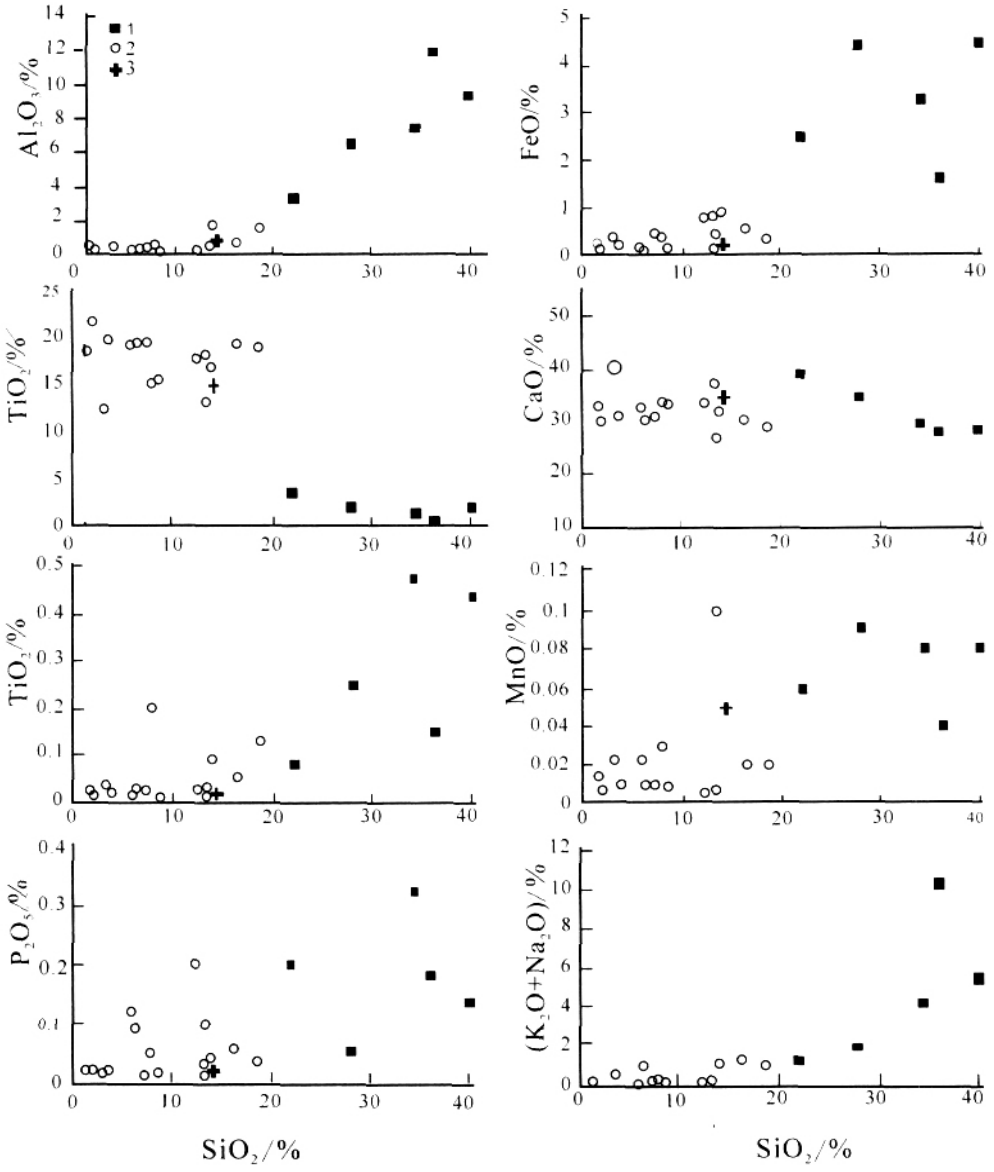


图 2 大理岩岩组白云质大理岩的哈克图解及化学成分对比

1—透辉片麻岩岩组的透辉大理岩;2—大理岩岩组的白云质大理岩;3—色尔腾山岩群的白云质大理岩

Fig. 2 Harker plot and chemical composition correlation of dolomitic marble

1-Diopside marble of the diopside gneiss rock group; 2-Dolomitic marble of the marble rock group; 3-Dolomitic marble of the Serteng Group-complex

中元古蓟县系雾迷山锥状藻白云岩的特征相同,说明二者的形成环境相似。

3 大理岩岩组的微量元素特征及原岩建造

白云质大理岩中的微量元素含量(表 2)除 Mg 明显富集外,几乎所有的大离子亲石元素、高场强元素和过渡元素都发生显著的亏损,这与岩石中碎屑含量极度减少有关。但这些微量元素的亏损程度不同,大离子亲石元素 K、Rb、Sr、Ba 亏损较大,高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 亏损相对较弱,高场强元素 V、Co 亏损较大,Sc 中等亏损,Ni、Cr 含量与透辉大理岩相同(图 3)。同样,在白云质大理岩中,大离子亲石元素的含量仍与 Al、K、Fe 呈正比,其强烈亏损与岩石中的泥质含量较低有关,高场强元素似乎与 Al、K 关系不大,主要是化学沉积所致。过渡元素的亏损

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

表 1 白云质大理岩的化学成分

Table 1 Major element contents of dolomitic marble

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18
样品	2p11b4 5-1	2p2b3 3-1	2p2b3 3-4	2P9gs2 0-2	2p9b 8-1	5P16gs 11	5P15gs9 6-2	5P15gs3 5-3	5P15gs 36	2P9gs 1-1	2gs 1364-1	2gs 1364-4	2gs 8464-5	2gs 8464-6	2Pgs 46-1	1p1b 33-2	2gs 2091-1
岩石名称	金云石墨杆榄大理岩	蛇纹石化杆榄大理岩	榍石透辉石榴大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	石墨杆榄大理岩	含透辉蛇纹石化大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	白色大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	蛇纹石化含石墨透辉大理岩	蛇纹石化含石墨透辉大理岩	含石墨透辉大理岩	透辉大理岩	含透辉大理岩	透闪大理岩	大理岩
SiO_2 /10^{-2}	16.44	13.92	13.32	18.54	6.27	7.28	5.82	3.64	13.45	2	1.58	3.17	8.68	12.32	13.28	14.32	2.6
TiO_2	0.05	0.09	0.01	0.13	0.03	0.022	0.015	0.02	0.03	0.017	0.022	0.037	0.007	0.025	0.015	0.02	0.026
Al_2O_3	0.75	1.81	0.12	1.55	0.36	0.466	0.254	0.52	0.47	0.24	0.41	0.46	0.03	0.17	0.17	0.84	0.79
Fe_2O_3	0.46	0.67	0.41	0.32	0.05	0.395	0.067	0.25	0.32	0.13	0.11	0.23	0.12	0.9	0.16	0.04	0.22
FeO	0.18	0.34	0.49	0.07	0.08	0.14	0.15	0	0.18	0.04	0.19	0.19	0.06	0.03	0.01	0.18	0.11
FeOT	0.59	0.94	0.86	0.358	0.12	0.495	0.21	0.225	0.468	0.157	0.289	0.397	0.168	0.84	0.154	0.22	0.308
MnO	0.02	0.03	0.1	0.019	0.01	0.01	0.023	0.01	0.03	0.007	0.014	0.022	0.009	0.005	0.007	0.05	0.014
MgO	19.36	16.97	13.33	18.88	19.53	19.55	19.4	19.71	18.23	21.69	18.62	12.46	15.86	17.75	13.23	15.05	4.49
CaO	30.05	32.09	37.09	28.64	30.31	30.93	32.75	31.01	26.73	29.75	32.95	40.16	33.54	33.29	37.7	34.47	49.1
Na_2O	1.04	0.18	0.16	0.08	0.93	0.12	0.047	0.15	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.16	0.051
K_2O	0.16	0.81	0.07	0.96	0.05	0.093	0.047	0.35	0.11	0.02	0.05	0.2	0.02	0.02	0.04	0.02	0.78
P_2O_5	0.06	0.04	0.01	0.036	0.09	0.011	0.12	0.02	0.1	0.022	0.02	0.013	0.016	0.2	0.031	0.02	1.6
LOI	31.5	32.76	34.87	36.02	42.34	2.405	1.254	44.81	40.34	46.45	46.33	44.04	42.64	40.82	40.24	34.71	42.68
Total	100.34	99.71	99.98	105.277	100.05	61.422	59.947	100.48	100.02	100.44	100.36	100.902	101.08	104.65	104.926	99.88	101.76
K_2O+Na_2O	1.2	0.99	0.23	1.04	0.98	0.213	0.094	0.5	0.13	0.07	0.1	0.25	0.05	0.07	0.07	0.18	0.129
CaO/MgO	1.55	1.89	2.78	1.52	1.55	1.58	1.69	1.57	1.47	1.37	1.77	3.22	2.11	1.88	2.85	2.29	10.94

注：序号 1~5 由吉林大学测试中心分析，6~10 引自包头地区 6 幅 1:5 万区域地质调查报告，1994。序号 17 为色尔腾山岩群样品，由湖北省地质实验研究所测试。18 为马家店群样品。其他引自庙沟、东坡幅 1:5 万区域地质调查报告，1992。

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

表 2 白云质大理岩的微量元素含量及相关参数

Table 2 Trace element contents and relevant parameters of dolomitic marble

样号	2p11b45-1	2p2b33-1	2p2b33-4	2p9b8-1	1p1b33-2
岩石名称	含云石墨杆榄大理岩	蛇纹石化杆榄大理岩	榍石透辉石榴大理岩	石墨杆榄大理岩	透闪大理岩
K/10^{-6}	1328	6724	581	415	166
Ba	23	215	30.7	23.4	52
Rb	16.6	39	19.7	16.3	<3.0
Sr	34.7	108	135	50.4	147
Th	3.2	9.08	4.11	3.7	<0.5
Co	0.4	2.11	0.93	2.1	6.9
Cr	5	11.3	3.25	3	<5.0
Ni	11.4	3.24	5.6	7.2	13
V	5	4.17	1.2	1.7	6.2
Zr	56.7	60.3	28.7	57.2	14
Sc	2	7.37	1.13	1.5	<0.5
B	2.7	24.5	3.1	3.1	<2.0
Ta		0.5	0.4	-	<0.5
Hf		0.9	0.7		0.7
Nb	5	9	8	13.2	4.1
K/Rb	80	172	30	25	55
Rb/Sr	0.48	0.36	0.15	0.32	0.02
Ba/Sr	0.66	1.99	0.23	0.46	0.35
K/Ba	58	31	19	18	3

注:样号 5 采自色尔腾山岩群,微量元素和稀土元素在中国科学院长春应化所采用等离子质谱仪分析。

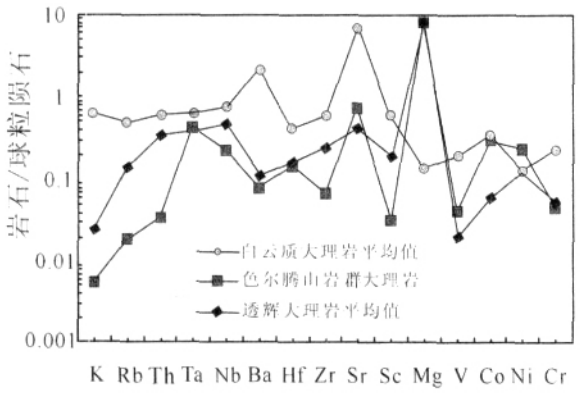


图 3 白云质大理岩的微量元素蛛网图

Fig.3 Trace element spidergram of dolomitic marble

和富集则是化学沉积和碎屑沉积综合作用的结果。

4 大理岩岩组的稀土元素特征及原岩建造

大理岩的稀土元素含量(表 3)分布形式比较复杂,总体可以分为两类:轻稀土亏损型和轻稀土富集型,前者轻重稀土分馏均不明显[(La/Yb)n=3.4~6.8,(Gd/Yb)n=1.9~2.7],并显示出明显的铕负异常(Eu*/Eu=0.39~0.46)(图 4),稀土总量低(ΣREE=10.71×10^{-6}~13.43×10^{-6})。后者轻稀土相对富集,重稀土分馏变化较大([(La/Yb)n=13.47~32.03,(Gd/Yb)n=2.19~4.21](图 4),铕负异常减小(Eu*/Eu=0.49~0.74),稀土总量变化大,但除一个样品(ΣREE=71.48×10^{-6})外,其余样品的稀土总量都很低(ΣREE=4.4×10^{-6}~10.58×10^{-6})。

大理岩岩组中大理岩与透辉片麻岩岩组中透辉

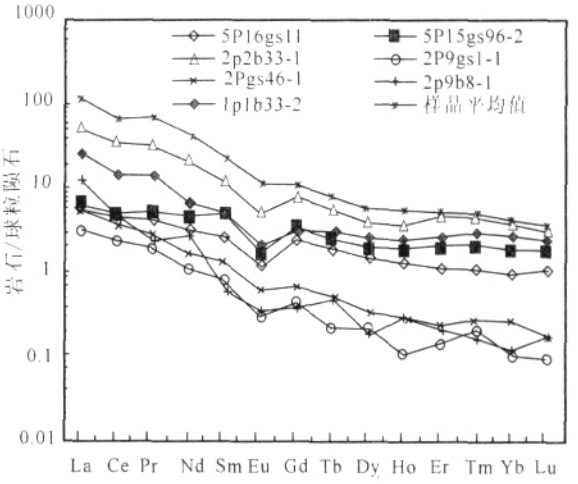


图 4 白云质大理岩的稀土分布模式

Fig.4 REE distribution patterns for dolomitic marble

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

表 3　白云质大理岩的稀土元素含量(10×10^{-6})及相关参数

Table 3　REE contents and relevant parameters of dolomitic marble

序号	1	2	3	4	5	6	7
样号	5P16gs11	5P15gs96-2	2p2b33-1	2P9gs1-1	2Pgs46-1	2p9b8-1	1p1b33-2
岩石名称	含透辉蛇纹石化大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	蛇纹石化橄榄大理岩	蛇纹石化透辉大理岩	含透辉大理岩	石墨橄榄大理岩	透闪大理岩
La	1.971	2.3	16.9	1.057	2.075	4.158	8.37
Ce	4.001	4.09	30.1	2.08	3.302	4.03	12.69
Pr	0.495	0.609	3.69	0.216	0.329	0.268	1.55
Nd	1.913	2.796	12.4	0.623	1.007	1.73	3.98
Sm	0.495	0.865	2.13	0.138	0.227	0.105	0.92
Eu	0.084	0.11	0.35	0.02	0.041	0.024	0.13
Gd	0.635	0.858	2.07	0.105	0.172	0.091	0.76
Tb	0.093	0.117	0.27	0.01	0.025	0.023	0.14
Dy	0.468	0.629	1.32	0.067	0.106	0.058	0.83
Ho	0.087	0.134	0.25	0.007	0.02	0.02	0.17
Er	0.217	0.432	0.99	0.027	0.044	0.042	0.55
Tm	0.032	0.06	0.15	0.006	0.008	0.005	0.09
Yb	0.187	0.366	0.76	0.02	0.051	0.024	0.55
Lu	0.036	0.064	0.1	0.003	0.006	0.006	0.08
∑REE	10.71	13.43	71.48	4.379	7.413	10.58	30.81
Y	1.758	3.849	10.9	0.267	0.643	0.421	5.86
δ EU	0.46	0.39	0.51	0.49	0.61	0.74	0.46
δ Ce	0.87	0.75	0.81	0.92	0.81	0.61	0.74
(La/Yb)n	6.39	3.81	13.5	32	24.7	105	9.22
(Gd/Yb)n	2.73	1.88	2.19	4.22	2.71	3.05	1.11

注: 序号 3、6、7 为 1:25 万区域地质调查项目分析结果; 序号 1~2 引自包头地区 6 幅 1:5 万区域地质调查报告, 1994; 其他样品引自东坡、庙沟幅 1:5 万区调报告, 1992。

大理岩的主要差别是, 稀土总量极低, 轻稀土富集较差。在白云质大理岩中, 稀土总量(ΣREE=71.48×10^{-6})最高的岩石中 Al_2O_3 含量也最高(1.81%), 其他岩石稀土总量为 ΣREE=4.38×10^{-6}~13.43×10^{-6}, Al_2O_3 含量较低(0.17%~0.47%)。而白云质大理岩中轻重稀土分馏程度的变化应与海水中不同时期重稀土的含量变化有关[11]。

5　原岩的沉积环境

大理岩岩组大理岩与透辉片麻岩组中的透辉大理岩的主要区别是岩石富镁, 泥质碎屑极少, 原岩为硅质条带白云岩、白云岩, 少量含泥质白云岩。该套白云质大理岩应形成于干燥气候条件下的有障壁岛存在封闭海盆中, 同时其厚层沉积也意味着沉积环境的稳定性。

沉积岩层中的镁铝含量比 (m=100×MgO/Al_2O_3) 是沉积环境的标志之一[12-14], 在由淡水向海水过渡的沉积环境中, 沉积岩层的 m 值随沉积环境中水体的盐度增加而增加, 淡水环境下 m<1; 陆海过渡性沉积环境为 1<m<10; 海水沉积环境为 10<m<500, 陆表海的 m>500。

研究区内的孔兹岩虽然经历了麻粒岩相变质, 但 MgO、Al_2O_3 的活动性不强, 可用该指数近似判断其沉积环境。在榴云片麻岩岩组中, 原岩为长石砂岩的 m 值为 3.2~5.9; 原岩为杂砂岩的榴云片麻岩的 m 为 6.8~22; 原岩为粉砂岩的榴云片麻岩的 m 值为 9.8~23; 原岩为泥岩的 m 值为 7.4~25, 表现出陆海过渡- 海水沉积环境的特征, 类似于三角洲相- 滨海相沉积。透辉大理岩岩组中, 原岩为含钙质长石砂岩的透辉片麻岩和透辉长石岩的 m 值为 5.1~21.2; 原岩为钙质杂砂岩- 钙质泥岩的 m 值为 17~29; 原岩为泥质大理岩的透辉大理岩的 m 值为 21.2~113; 原岩为泥灰岩的透辉石岩的 m 为 21.5~207.5, 除透辉片麻岩和透辉长石岩的部分样品具陆海过渡的性质之

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

外，主要为海水沉积环境，近似于滨海- 浅海相沉积；大理岩岩组的白云质大理岩的 m 值为 938~52867，显示出陆表海的特性，其 Sr/Ca 比值又显示出潟湖- 海滩沉积的性质。总体上，研究区内的孔兹岩系可能形成于三角洲到浅海的环境中。

上述讨论表明，从榴云片麻岩岩组→透辉片麻岩岩组→大理岩岩组，原岩建造的沉积环境有从陆海过渡的三角洲相过渡到滨海- 浅海相，构造环境也从不很稳定的亚稳定状态过渡到稳定构造环境，这与稳定克拉通盆地的沉积建造略有差异，可能形成于被动大陆边缘[2,5]，但更类似于中元古界长城系、蓟县系这样的克拉通内裂陷槽或裂谷沉积[15]，因为在进行榴云片麻岩岩组富铝片麻岩的对比时发现，丰镇、集宁和贺兰山地区的富铝片麻岩在岩石成分[16]、微量元素和稀土元素特征方面并不完全相同，集宁一带的富铝片麻岩和区内榴云片麻岩岩组的富铝片麻岩近似，均以 CaO、Na_2O 的富集为特征。这都意味着原岩源区和沉积环境的差异，用克拉通内裂陷槽或裂谷沉积来解释可能更符合这一现象。

6 结 论

综上所述，可以得出如下认识：(1)孔兹岩系的原岩建造，自下而上依次为：碎屑沉积建造- 钙质碎屑沉积建造- 碳酸盐岩沉积建造，总体上显示出从榴云片麻岩岩组→透辉片麻岩岩组→大理岩岩组，构成由碎屑沉积为主→化学沉积为主的地层旋回。(2)大理岩岩组以富 CaO、MgO 和 LOI 为特征，CaO+MgO 达 44.96%以上，且 CaO/MgO 较小（1.37～10.94）。(3)孔兹岩系的沉积环境，由初期的三角洲- 滨海，过渡到滨海- 浅海，最后到干燥气候条件下有障蔽岛相隔的封闭海盆。这套地层近似于稳定克拉通内的裂谷或裂陷槽沉积。

参考文献(References):

[1] 宋海峰，徐仲元，刘正宏.内蒙古大青山地区石榴混合花岗质岩石地球化学特征及成因[J]. 岩石矿物学杂志，2005，24(5)：490- 495.
Song Haifeng, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong. Geochemical characteristics and origin of garnet migmatitic granites in Daqingshan area, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24 (5): 490- 495(in Chinese with English abstract).

[2] 卢良兆，徐学纯，刘福来，中国北方早前寒武纪孔兹岩系 [M]. 长春：长春出版社，1996：1- 276.
Lu Liangzhao, Xu Xuechun, Liu Fulai. Precambrian Khondalite Series of North China [M]. Changchun: Changchun Publishing House, 1996: 1 - 276(in Chinese with English abstract).

[3] 李江海，钱祥麟，刘树文. 华北克拉通中部孔兹岩系的地球化学特征及其大陆克拉通意义[J]. 中国科学(D 辑)，1999，29(3)：193- 203.
Li Jianghai, Qian Xianglin, Liu Shuwen. Geochemistry of khondalites from central portion of North China craton (NCC): Implications for the continental cratonization in the NeoArchaean[J]. Science in China (Series D), 1999, 29(3): 193- 203(in Chinese).

[4] 万渝生，耿元生，沈其韩，等. 孔兹岩系—山西吕梁地区界河口群的年代学和地球化学[J]. 岩石学报，2000，16(1)：49- 58.
Wan Yusheng, Geng Yuansheng, Shen Qihan, et al. Khondalite series geochronology and geochemistry of the Jiehekou Group in Luliang area, Shanxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (1): 49- 58 (in Chinese with English abstract).

[5] Condie K C, Boryta M D, Liu J Z, et al. The origin of khondalites: geochemical evidence from the Archean to early Proterozoic granulite belt in the North China craton [J]. Precam Res, 1992, 59: 207- 203.

[6] Dash B, Sahu K N, Bowes D R. Geochemistry and original nature of Precambrian khondalites in the Eastern Ghats, Orissa, India [J]. Trans R Soc Edinburgh, 1987, 78: 115- 127.

[7] Chacko T, Ravindra kumar GR, Meen JK, et al. Geochemistry of high- grade supracrustal rocks from the Kerala khondalite belt and adjacent massif charnockites, South India[J]. Precam Res, 1992, 55: 469- 489.

[8] 沈其韩，张荫芳，高吉凤，等. 内蒙古中南部太古宙变质岩 [J]. 中国地质科学院地质研究所所刊，1990，21：1- 192.
Shen Qihan, Zang Yinfang, Gao Jifeng, et al. Study on Archaean metamorphic rocks in midsouthern Inner Mongolia of China [J]. Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 1990, 21: 1- 192(in Chinese with English abstract).

[9] Zhai M G, Liu W J. Palaeoterozoic tectonic history of the North China craton: a review[J]. Precam Res, 2003, (122): 183- 199.

[10] 徐仲元，刘正宏，杨振生. 内蒙古大青山地区孔兹岩系的地层结构[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2002，32(4)：209- 218.
Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Yang Zhensheng. The strata texture of khondalite in Daqingshan area, Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32 (4): 209- 218(in Chinese with English abstract).

[11] 李文达. 稀土元素在矿床研究中的应用[M]. 北京：地质出版社，1987：161- 179.
Li Wenda. REE Elements in the Study of Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 161 - 179 (in Chinese with English abstract).

[12] 张士三. 厦门港及九龙江口沉积物中镁铝含量比的研究[J]. 台湾海峡，1984，3 (1)：44- 49.
Zhang Shisan. Magnesium and aluminum content in sediments of Xiamen and Jiulongjiang [J]. Taiwan Strait, 1984, 3 (1): 44- 49(in Chinese with English abstract).

[13] 张士三. 太平洋中部表层沉积物镁铝含量比的变化 [J]. 台湾海

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

峡, 1990, 9(3): 244- 249.
Zhang Shisan. Changes of magnesium and aluminum content in the middle of the Pacific Ocean surface sediments [J]. Taiwan Strait, 1990, 9(3): 244- 249(in Chinese with English abstract).

[14] 张士三, 陈承惠. 太平洋中部沉积柱样中镁铝含量比的研究[J]. 海洋学报. 1991, 13(1): 114- 120.
Zhang Shisan, Chen Chenghui. Magnesium and aluminum content in the middle of the Pacific Ocean sediments[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1991, 13(1): 114- 120(in Chinese with English abstract).

[15] 徐仲元, 刘正宏, 胡风翔, 等. 内蒙古大青山地区孔兹岩系中钙硅酸盐岩的组成和地球化学特征[J].吉林大学学报(地球科学版). 2005, 35(6): 681- 689.
Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Hu Fengxiang, et al. Geochemical characteristics of the calc- silicate rocks in khondalite series in Daqingshan area, Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2005, 35 (6): 681 - 689 (in Chinese with English abstract).

[16] 张臣, 陈亚平, 钱祥麟. 大同- 集宁地区太古代变质基性岩墙群的基本特征[J]. 石家庄经济学院学报, 1992, (5): 21- 29.
Zhang Chen, Chen Yaping, Qian Xianglin. Archean metamorphic rocks of the basic characteristics in Datong- Jining area [J]. Journal of Shijiazhuang University of Economics, 1992, (5): 21 - 29 (in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics and protoliths of the marble rock group of the khondalite series in the Daqing Mountains, Inner Mongolia

BI Ming- li, LU Lai- jun, Zhao Qing- Ying, Liu Zheng- Hong

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: The marble rock group is the top one of three rock groups of the khondalite series in the Daqing Mountains area, Inner Mongolia. It, as a suite of Mg- rich marble, is characterized by development of very thick and extensive dolomitic marble, with small amount of clastic rocks at the bottom. Besides dolomite, the mineral composition also commonly includes one or several Mg- rich silicate minerals such as serpentinized olivine, diopside and phlogopite. The rocks are rich in CaO, MgO and LOI, reflecting the geochemical characteristics of carbonate rocks. The CaO+MgO content is more than 44.96% and the CaO/MgO ratio is relatively low, being 1.37- 10.94; so the protolith should be dolostone that has a very low content of fragments and mainly formed by chemical deposition. The sedimentary environment of the protoliths graded from the paralic deltaic facies at the initial stage through the littoral- neritic faces to the enclosed sea basin facies which was separated by barrier islands under dry climatic conditions. The tectonic environment also passed from the metastable to stable one. This suggests that the protoliths of the suite of metamorphosed sedimentary strata may have formed on the passive continental margins, but were more likely to be similar to intracratonic aulacogen or rift deposits such as the Mesoproterozoic Changchengian System and Jixianian System.

Key words: Inner Mongolia; Daqing Mountains; khondalite series; marble rock group; geochemical characteristics; protolith; sedimentary environment

---

About the first author: BI Ming- li, female, born in 1978, Ph.D candidate, engaged in the study of the geographic information system and geology; E- mail: juice.2006@163.com.

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