

# Clay Mineralogy and Its Paleoclimatic Indicator of the Neogene Sediments of the Bayantala Basin, DongwuQi, Inner Mongolia

Wei Wang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Geochemical Exploration, IGGE, Langfang Hebei

<sup>2</sup>UNESCO International Centre on Global-Scale Geochemistry, Langfang Hebei

Email: wangwei@igge.cn

Received: Nov. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2018; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

By systematically studying the Neogene drilling in the Bayantala Basin, DongwuQi, Inner Mongolia, the basic framework of Neogene strata in this area was established. The X-ray diffraction was analyzed from the clay mineral samples taken from the drilling, and according to the composition and mass fraction of clay minerals in the sample, the evolution of the paleoclimate of the basin was discussed. A comprehensive study of the Neogene strata in Bayantala Basin shows that the newly developed Miocene Tongguer Formation (N1t) and the Pliocene Baogedawula Formation (N2b) strata were well-developed within the basin; In Miocene Epoch, montmorillonite, kaolinite, and illite are the main components of clay minerals, while chlorite only occurs in local strata, and the content was relatively small. In this period, the paleo-climatic change in the basin generally changes from hot-humid to dry-cold; In the early period of the Pliocene, the clay minerals were composed of montmorillonite and kaolinite, and their contents increased at the same time, reflecting the transition of the overall climate from dry-cold to hot-humid; in the middle and late stages of the Neolithic Pliocene, the clay minerals were mixed with Ehmon and The content of kaolinite and kaolinite showed a decreasing trend. The content of the minerals in the mixed layer of Elemene showed an increasing trend, indicating that the Pliocene climate turned to be arid and the overall environment was arid to semi-arid.

## Keywords

Bayantala Basin, Neogene, Characteristics of Clay Minerals, Paleoclimate

---

# 内蒙古东乌旗巴彦塔拉盆地新近纪沉积物中粘土矿物特征与古气候指示意义

王 玮<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 国土资源部地球化学探测重点实验室, 河北 廊坊

<sup>2</sup>联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊

Email: wangwei@igge.cn

收稿日期: 2018年11月8日; 录用日期: 2018年11月22日; 发布日期: 2018年11月29日

## 摘要

通过对内蒙古东乌旗巴彦塔拉盆地新近纪钻孔的系统研究, 建立了本地区新近系地层的基本格架, 对钻孔中所取的粘土矿物样品进行X射线衍射分析, 并根据样品中粘土矿物的成分、质量分数对盆地古气候的演化进行探讨。通过对巴彦塔拉盆地内新近系地层的综合研究表明: 盆地内发育较完整的新近系中新统通古尔组(N1t)和上新统宝格达乌拉组(N2b)地层; 新近纪中新世, 粘土矿物组合以蒙脱石、高岭石、伊利石为主, 绿泥石仅在局部层位出现, 含量较少, 该时期盆地古气候变化总体上是由湿热向干冷逐渐变化; 新近纪上新世早期, 粘土矿物组合为蒙脱石和高岭石, 并且含量同时升高, 反应了总体气候由干冷向湿热的转变; 新近纪上新世中晚期, 粘土矿物组合为伊蒙混层和高岭石, 高岭石含量呈递减趋势, 伊蒙混层矿物含量呈递增趋势, 表明上新世气候逐渐转为干旱, 总体环境为干旱-半干旱环境。

## 关键词

巴彦塔拉盆地, 新近纪, 粘土矿物特征, 古气候

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

粘土矿物是自然界中分布最广的一种天然产物, 它是大多数海相和陆相沉积物的重要组成部分[1][2]。20世纪60年代始, 有学者对沉积物中粘土矿物含量变化所揭示的古气候和环境变化进行了研究。例如, 伊利石和绿泥石多分布在高纬地区以及沙漠地区, 反映干旱寒冷的气候, 高岭石主要在低纬度温暖潮湿的气候下经化学风化形成[3][4][5]。20世纪80年代粘土矿物开始用于古环境尤其是古气候和沉积相的研究[6]-[12], 探讨了各类沉积物中的粘土矿物变化与古气候环境的关系, 认为粘土矿物组合特征、含量和结晶度以及结构变化蕴含了沉积相变、气候冷暖变化以及水动力条件等古环境信息。粘土矿物随深度的变化反映了源区或沉积区环境随时间变化的特征, 记录了搬运、再沉积和环境演化的重要信息, 为古环境重建提供了有力证据。

内蒙古地区新近纪多为河湖相的内陆盆地, 湖水大多较浅, 早期盆地的持续下沉, 致使其沉积物较厚, 晚期由于喜马拉雅造山运动缓慢的差异升降, 全区基本处于相对抬升的状态, 沉积不稳定, 地层厚度变薄, 巴彦塔拉盆地就是在这种古地理环境下接受沉积的[13]。上世纪70年代开展1:20万宝力格幅[13]区域地质调查和2008年1:25万新庙幅[14](修测)区域地质调查对研究区的侵入岩、构造格架及新生代以前的地层进行了较深入的研究, 但对本地区新近纪以来的环境气候变化研究较少。孙黎明等[15]通过孢粉和层序地层的方法对研究区东南部西河盆地新近纪红土的研究认为, 该地区宝格达乌拉组(N<sub>2</sub>b)地层形成于半湿润、半干旱的温带古气候环境。但未有学者通过粘土矿物的方法对本地区新近纪地层进行系统的

研究, 本文依据最新的 1:5 万巴彦塔拉幅区域地质调查成果, 对巴彦塔拉盆地沉积物进行详细调查并通过钻孔揭露, 建立起研究区相对完整的第三纪地层格架。通过对钻孔中典型粘土层的粘土矿物进行取样, 并进行半定量分析, 初步查明了该地区新近纪沉积物中粘土矿物特征及其环境意义。

## 2. 研究区概况

研究区行政区划属于内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗, 地理范围为东经:  $117^{\circ}\sim 117^{\circ}30'$ , 北纬:  $45^{\circ}50'\sim 46^{\circ}10'$ , 地形上属内蒙古高原的一部分, 地势较高, 海拔高度一般在 900~1100 m 之间, 相对高差一般小于 200 m, 山圆坡缓沟阔, 地形起伏不大, 为低中山区。河流多已经干涸, 有个别湖泊有积水, 河谷切割多为北西向, 切割深度小。气候上属北温带干旱-半干旱大陆性气候, 年平均气温  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 最冷月份为 1 月, 平均气温  $-26^{\circ}\text{C}$ , 最低气温  $-37.4^{\circ}\text{C}$ ; 7 月份最热, 平均气温  $19.8^{\circ}\text{C}$ , 最高可达  $38^{\circ}\text{C}$ , 冷冻期从 10 月至次年 4 月份, 长达 7 个月之久。年平均降雨量 317.44 mm, 多集中在 7~8 月份, 占全年降雨量的 60%。区内季风明显, 除秋季为东南风外, 其它季节多为西北风[16]。

大地构造位置属于西伯利亚板块东南大陆边缘晚古生代天山-兴蒙造山带(II 级), 大兴安岭北段古生代陆缘增生带(III 级), 内蒙古北部弧形褶皱带(IV 级)的东乌旗复背斜之北翼[16]。

## 3. 新近纪沉积物特征

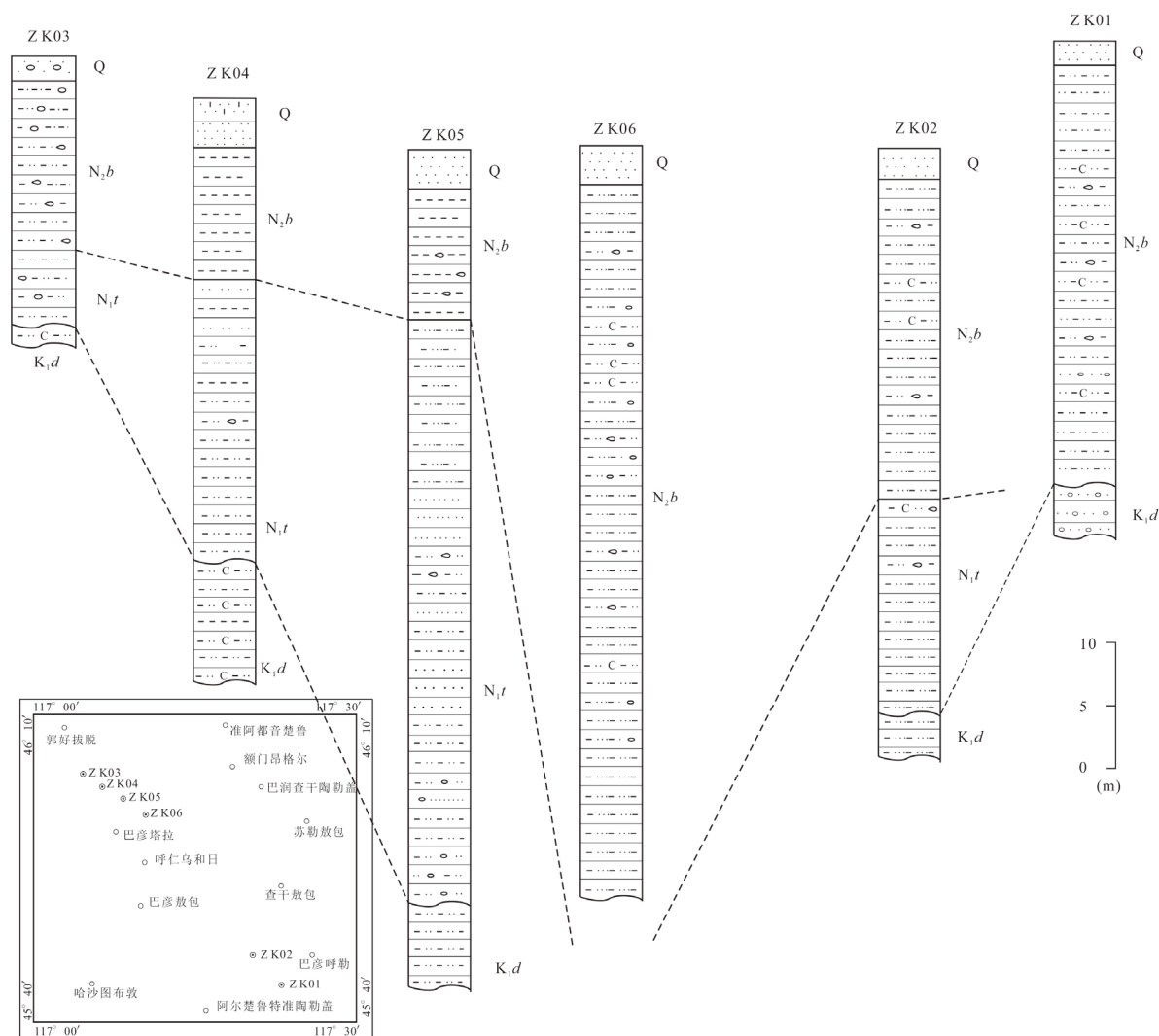
巴彦塔拉盆地属于山间盆地, 总体呈狭带型 NE-SW 向展布, 长约 80 km, 宽约 15 km。工作区新生代地层分布于盆地内, 地表出露为新近系上新统宝格达乌拉组, 为了系统的研究巴彦塔拉盆地的演化历史, 在盆地中部署了 6 孔钻孔, 揭露了相对完整的新近纪沉积地层, 展示了新近纪沉积物的特征。

研究区地表未见出露的通古尔组地层( $N_{1t}$ ), 其中钻孔 ZK02、ZK03、ZK04、ZK05 均揭露了该套地层, 厚度较大, 约为 49.8 m (ZK05)。通古尔组( $N_{1t}$ )主要岩性为一套河湖相沉积的灰绿色、灰黄色泥岩、砂岩, 胶结不好-基本无胶结, 具水平层理, 下部含灰绿色粗砂、砂屑, 含量约占 70%~75%, 胶结物为灰绿色粘土, 细粉砂, 含灰黑色炭质斑点及灰白色钙质结核, 砂屑主要成分为石英、燧石, 少量为长石颗粒, 颗粒粒径为 2~7 mm。上部被新近系上新统宝格达乌拉组红褐色粉砂质泥岩覆盖, 底部不整合于大磨拐河组灰黑色粉砂质泥岩夹中砂岩及侵入岩之上, 色调以青灰色、灰白色和灰色为主, 和上覆宝格达乌拉组红褐色、下伏大磨拐河组灰黑色色调区别明显。

新近系上新统宝格达乌拉组( $N_{2b}$ )为研究区内出露面积最大的地层, 占研究区总面积的一半以上。不整合于其他地层、岩体之上, 上被第四系覆盖。主要分布于工作区低洼、平坦处, 北部受新构造运动影响分布地势较高, 可见于平台之上, 产状近水平。主要岩性有粉砂质泥岩: 新鲜面砖红色、棕红色, 含灰白色钙质结核、铁锈色铁质结核。钙质结核粒径在 0.8~1.2 mm 间, 含量约占 1%。铁质结核粒径在 1~1.5 mm 间, 含量约占 5%左右。可搓成细条, 削刮可见光滑的平面。砂砾岩: 黄褐色, 砾石主要为灰白色半固结钙质结核, 无磨圆, 砾径 0.8~2.5 cm 间。巴彦塔拉盆地内宝格达乌拉组地层厚度横向变化大(图 1), 最薄处约 7.65 m (ZK03), 最厚处大于 56.83 m (ZK06 未见底), 下界与中新统通古尔组呈平行不整合接触, 为干旱炎热气候环境下的产物, 区别于通古尔组青灰色、灰白色和大磨拐河组灰黑色色调。具有较为特殊的棕红色、红褐色特征, 为一套氧化环境下的河湖相沉积物。

## 4. 样品采集及测试

样品采集于巴润巴彦塔拉附近钻孔(ZK05), 钻孔深度为 75.5 m, 新近系厚度为 62.2 m, 其中宝格达乌拉组厚 12.4 m, 通古尔组厚 49.8 m, 根据岩石组合特征及地层厚在剖面上共采集样品 50 件, 其中 13 件采自宝格达乌拉组, 37 件采自通古尔组, 详细采样层位见表 1。

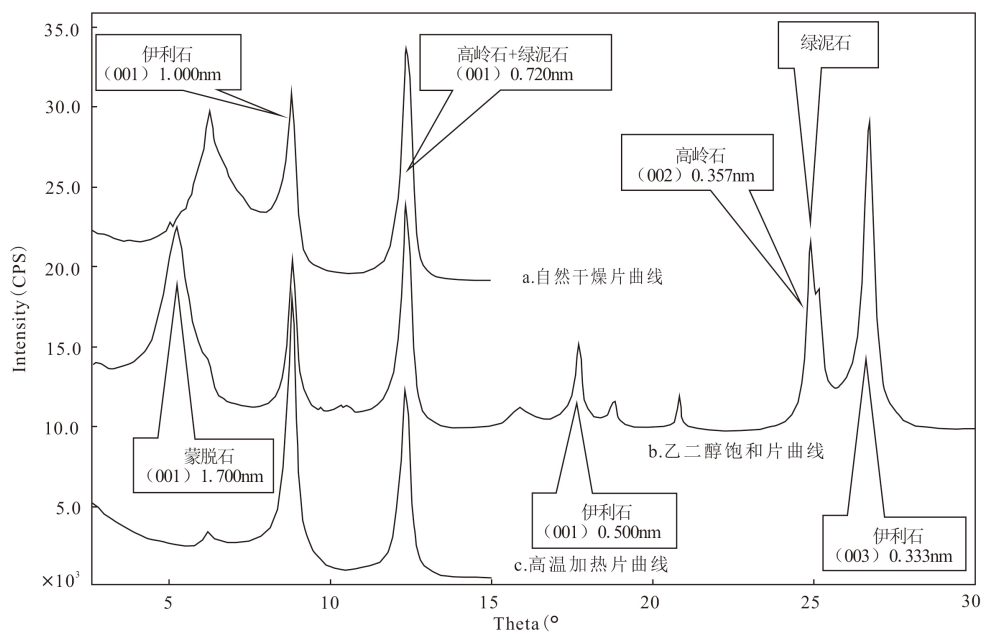


**Figure 1.** Neogene stratigraphic correlation of the study area  
**图 1.** 研究区新近系柱状对比图

实验前为了去除有机质、碳酸盐等要加入双氧水和稀盐酸，特别要注意适量，否则将影响粘土的悬浮[17][18]。根据 stoke 沉积原理[19]，从沉积物中提取出  $d < 2 \mu\text{m}$  的粘土矿物，制成“N 片”、“EG 片”和“T 片”3 种类型。完成制片工作后，将试样进行 X 射线衍射测试分析。测试仪器为日本理学电机公司的 D/MAX 2500X 射线衍射仪(X-ray diffract meter)，采用 Cu 靶，仪器工作状态为：管压 40 kv、管流 100 mA，扫描速度  $4^\circ/\text{min}$ ，N、T 片扫描范围  $2.6^\circ \sim 15^\circ$ ，EG 片扫描范围  $2.6^\circ \sim 30^\circ$ 。整个测试过程在中国地质科学院水文地质环境地质研究所实验室进行。

5-8-nt3 号样品，取样深度为 27.2 m，本次实验在 3 种条件下分别获得其 X 射线衍射曲线(图 2)。其中的 1.001 nm 峰在各种处理下衍射峰的位置基本不变，说明样品中一定含有伊利石。1.001 nm 峰为伊利石(001)衍射峰，0.499 nm 峰为伊利石(002)衍射峰，而 0.333 nm 峰推测为伊利石(003)和石英(101)的衍射峰的叠加峰。0.720 nm 和 0.357 nm 峰的存在，并且加热到 550 摄氏度后曲线中 0.720 nm 峰消失说明样品中含有高岭石。自然曲线中 1.411 nm 峰的出现表明样品中可能含有绿泥石和蒙脱石。乙二醇曲线中，1.411 nm 峰消失说明其中不含有绿泥石，而 1.700 nm 处出现大量的高峰值说明样品中含有蒙脱石，该峰为蒙

脱石(001)衍射峰。在定量分析时,从EG的图谱上得到数据中相应的衍射峰高度与强度,再根据不同的粘土矿物组合类型,根据粘土矿物的相对含量X衍射分析方法的行业标准(SY/T 5163-1996) [19],计算粘土矿物的百分含量,得出结果。



**Figure 2.** XRD patterns of the representative clay samples  
**图 2.** 代表性样品粘土矿物的 XRD 图谱

**Table 1.** Clay mineral X-ray diffraction analytical results  
**表 1.** 粘土矿物分析结果表

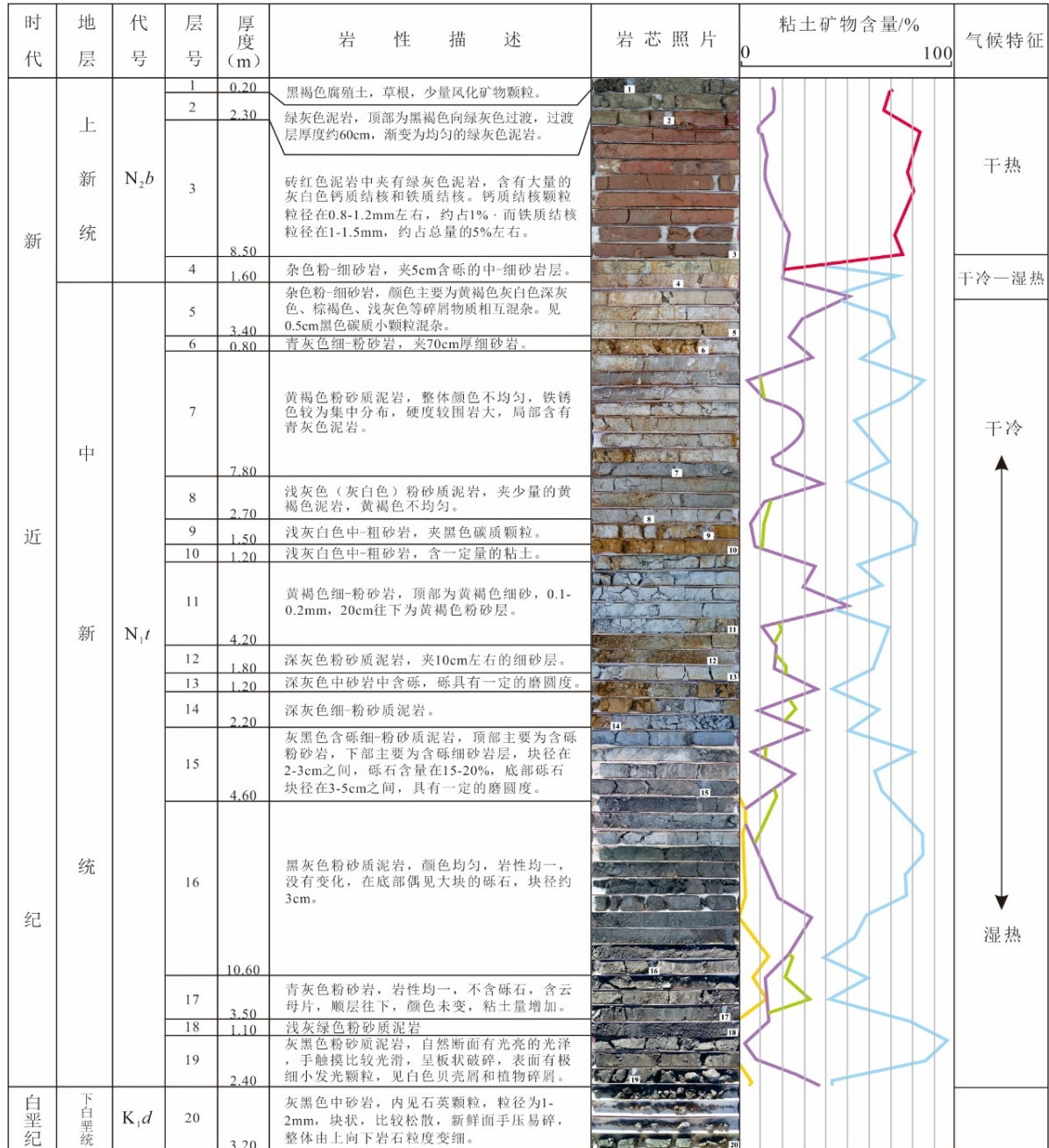
序号	编号	深度(m)	岩性	粘土矿物相对含量(%)					
				S	I/S	I	K	C	C/S
1	5-2-nt1	0.6	灰绿色泥岩	/	91	4	5	/	/
2	5-2-nt2	1.5	灰绿色泥岩	/	87	7	6	/	/
3	5-3-nt1	2.7	砖红色泥岩	/	70	14	16	/	/
4	5-3-nt2	3.5	砖红色泥岩	/	67	16	17	/	/
5	5-3-nt3	4.5	砖红色泥岩	/	83	8	9	/	/
6	5-3-nt4	5.5	砖红色泥岩	/	81	5	14	/	/
7	5-3-nt5	6.5	砖红色泥岩	/	78	10	12	/	/
8	5-3-nt6	7.5	砖红色泥岩	/	80	6	14	/	/
9	5-3-nt7	8.5	砖红色泥岩	/	74	7	19	/	/
10	5-3-nt8	9.5	砖红色泥岩	/	71	6	23	/	/
11	5-3-nt9	10.5	砖红色泥岩	/	75	4	21	/	/
12	5-4-nt1	11.5	杂色粉-细砂岩	73	/	7	20	/	/
13	5-4-nt2	12.4	杂色粉-细砂岩	42	/	7	51	/	/

## Continued

14	5-5-nt1	13.5	青灰色细 - 粉砂岩	68	/	2	30	/	/
15	5-5-nt2	14.5	青灰色细 - 粉砂岩	71	/	6	23	/	/
16	5-5-nt3	15.2	青灰色细 - 粉砂岩	56	/	9	35	/	/
17	5-6-nt1	16.5	黄褐色粉砂质泥岩	86	/	10	4	/	/
18	5-7-nt1	17.5	浅灰色粉砂质泥岩	75	/	12	13	/	/
19	5-7-nt2	18.5	浅灰色粉砂质泥岩	53	/	16	31	/	/
20	5-7-nt3	19.5	浅灰色粉砂质泥岩	60	/	13	27	/	/
21	5-7-nt4	20.5	浅灰色粉砂质泥岩	69	/	15	16	/	/
22	5-7-nt5	21.5	浅灰色粉砂质泥岩	49	/	11	40	/	/
23	5-7-nt7	23.5	浅灰色粉砂质泥岩	74	/	14	12	/	/
24	5-7-nt8	24.3	浅灰色粉砂质泥岩	82	/	12	6	/	/
25	5-8-nt1	25.5	浅灰色中 - 粗砂岩	81	/	11	8	/	/
26	5-8-nt2	26.5	浅灰色中 - 粗砂岩	55	/	7	38	/	/
27	5-8-nt3	27.2	浅灰色中 - 粗砂岩	66	/	5	29	/	/
28	5-10-nt1	29.5	黄褐色细 - 粉砂岩	38	/	11	51	/	/
29	5-11-nt1	30.5	灰白色粉砂质泥岩	69	/	20	11	/	/
30	5-11-nt2	31.5	灰白色粉砂质泥岩	66	/	16	18	/	/
31	5-11-nt3	32.5	灰白色粉砂质泥岩	62	/	22	16	/	/
32	5-11-nt4	33.5	灰白色粉砂质泥岩	43	/	20	37	/	/
33	5-11-nt5	34.5	灰白色粉砂质粘土	65	/	26	9	/	/
34	5-14-nt3	39.2	黄褐色含砾细 - 粉砂土	51	/	16	33	/	/
35	5-15-nt1	40.5	浅灰色粉砂质泥岩	82	/	12	6	/	/
36	5-15-nt2	41.5	浅灰色粉砂质泥岩	62	/	12	26	/	/
37	5-15-nt3	42.5	浅灰色粉砂质泥岩	67	/	18	15	/	/
38	5-15-nt4	43.5	浅灰色粉砂质泥岩	78	/	15	3	4	/
39	5-15-nt5	44.4	浅灰色粉砂质泥岩	84	/	9	5	2	/
40	5-16-nt2	46.5	深灰色细 - 中砂岩	84	/	6	8	2	/
41	5-16-nt7	51.5	深灰色细 - 中砂岩	76	/	9	12	3	/
42	5-16-nt8	52.5	深灰色细 - 中砂岩	77	/	4	16	3	/
43	5-16-nt9	53.5	深灰色细 - 中砂岩	59	/	7	34	/	/
44	5-16-nt10	54.5	深灰色细 - 中砂岩	53	/	14	27	6	/
45	5-17-nt1	55.8	深灰色粉砂质泥岩	39	/	25	22	14	/
46	5-17-nt2	56.5	深灰色粉砂质泥岩	60	/	21	12	7	/
47	5-17-nt3	57.5	深灰色粉砂质泥岩	41	/	33	13	13	/
48	5-17-nt4	58.5	深灰色粉砂质泥岩	78	/	7	15	/	/
49	5-19-nt1	60.5	深灰色细 - 粉砂质泥岩	96	/	2	2	/	/
50	5-19-nt2	61.5	深灰色细 - 粉砂质泥岩	85	/	6	9	/	/

### 5. 新近纪粘土矿物与古气候演化特征

样品测试结果见表 1，根据研究区新生界地层岩石组合特征，对钻孔剖面进行地层划分，确定了新近系上新统宝格达乌拉组、中新统通古尔组和白垩系地层。同时绘制了粘土矿物在钻孔柱状图上含量分布图(图 3)。



图例 伊蒙互层 蒙脱石 高岭石 伊利石 绿泥石

Figure 3. Neogene comprehensive stratigraphic corresponding diagram of clay mineral content and climate alternation in Bayantala basin

图 3. 巴彦塔拉盆地新近系地层综合柱状图及粘土矿物含量分布与气候变化对应关系图

研究区沉积环境较稳定,多以河流相、湖沼相沉积为主,沉积物中粘土矿物由蒙脱石、伊利石、高岭石、绿泥石以及混层矿物组成,其中以蒙脱石与高岭石含量较多,伊蒙混层含量次之,伊利石和绿泥石含量较少。根据粘土矿物类型含量变化特征,对研究区新近纪以来粘土矿物含量变化的几个阶段。

新近系中新统通古尔组地层粘土矿物组合以蒙脱石、伊利石、高岭石为主,局部层位含少量的绿泥石。蒙脱石含量 32%~84%,高岭石含量 3%~49%,伊利石含量 4%~33%,绿泥石仅在局部层位出现,含量较少。地层剖面上不同粘土矿物含量的变化特征具明显的规律性,如:蒙脱石与高岭石出现含量交替变化的现象,高岭石含量的增加表明强烈的淋滤作用,气候趋于温暖潮湿,同时蒙脱石含量减少,气温湿度均逐渐升高[20]-[26]。剖面上所反映的气候变化特征为温湿-干冷交替出现。蒙脱石含量增加时,伊利石同时出现,表明淋滤作用减弱,气候出现干冷的变化,与蒙脱石所反映的总体气候变化特征吻合。绿泥石出现在剖面底部的个别层位,如:15层、16层、17层和19层,表明季风气候逐渐增强,这与弓虎军等[27]对临夏盆地的研究及彭淑贞等[28]在对西峰三趾马红土的研究成果相近,该时期在青藏高原隆升到了一定程度,对全球大气环流产生了一定的影响,在华北地区形成了季风气候。

新近系上新统宝格达乌拉组地层粘土矿物组合以伊蒙混层和高岭石为主,含少量的伊利石。伊蒙混层矿物含量为 61%~97%,高岭石平均含量为 23%,伊利石含量 4%~16%。沉积柱由下至上高岭石含量呈递减趋势,伊蒙混层矿物含量呈递增趋势,表明上新世气候逐渐转为干旱,总体环境为干旱-半干旱稀树草原环境。其中,剖面第三层 1 号、2 号样品伊蒙混层矿物含量出现减少的现象,含量为 67%和 70%,反映了该段时间内气候出现的细微变化,即:干冷-暖湿的气候变化小周期。而剖面底部 4 层 1 号、2 号样品中伊蒙混层矿物不再出现,高岭石与蒙脱石(赤道型粘土)一起产出,指示当时化学风化与淋滤作用增强,成壤作用明显,气候暖湿的特征[29]-[34]。

## 6. 结论

通过对巴彦塔拉盆地内新近系地层的综合研究表明:

1) 盆地内发育较完整的新近系中新统通古尔组( $N_1t$ )和上新统宝格达乌拉组( $N_2b$ )地层,通古尔组( $N_1t$ )主要岩性为一套河湖相沉积的灰绿色、灰黄色泥岩、砂岩,宝格达乌拉组( $N_2b$ )为研究区内出露面积最大的地层,为一套具有较为特殊的棕红色、红褐色特征的氧化环境下的河湖相沉积物,主要岩性为粉砂质泥岩和砂砾岩。

2) 新近纪中新世,粘土矿物组合以蒙脱石、高岭石、伊利石为主,绿泥石仅在局部层位出现,含量较少。蒙脱石与高岭石出现含量交替变化的现象,粘土矿物含量周期性变化反映了多次温湿-干冷的气候旋回特征,中新世早期,两极性粘土(绿泥石)的出现则表明研究区受亚洲内陆夏季季风气候的影响。同时伊利石在各层中不断出现,因此,新近纪中新世盆地古气候变化总体上是由湿热向干冷逐渐变化。

3) 新近纪上新世早期,粘土矿物组合为蒙脱石和高岭石,并且含量同时升高,反应了总体气候由干冷向湿热的转变。

4) 新近纪上新世中晚期,粘土矿物组合为伊蒙混层和高岭石,高岭石含量呈递减趋势,伊蒙混层矿物含量呈递增趋势,表明上新世气候逐渐转为干旱,总体环境为干旱-半干旱环境。

## 基金项目

国家重点研发计划项目:穿透性地球化学探测技术(2016YFC0600600)。

## 参考文献

[1] Biscaye, P.E. (1964) Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas



- and Oceans. *Geological Society of America Bulletin*, **76**, 803-832.  
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1965\)76\[803:MASORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1965)76[803:MASORD]2.0.CO;2)
- [2] Jacobs, M.B. and Hays, J.D. (1972) Paleo-Climatic Events Indicated by Mineralogical Changes in Deep-Sea Sediments. *Journal of Sedimentary Research*, **42**, 889-898.
- [3] Singer, A. (1980) The Paleoclimatic Interpretation of Clay Minerals in Soils and Weathering Profiles. *Earth-Science Reviews*, **15**, 303-326. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(80\)90113-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(80)90113-0)
- [4] Singer, A. (1984) The Paleoclimatic Interpretation of Clay Minerals in Sediments—A Review. *Earth-Science Reviews*, **21**, 251-293. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(84\)90055-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(84)90055-2)
- [5] 须藤俊男. 粘土矿物学[M]. 严寿鹤, 刘万, 贾克实, 译. 北京: 地质出版社, 1981: 352-376.
- [6] 何良彪. 海洋沉积岩芯中粘土矿物变化与古气候变迁的关系[J]. 科学通报, 1982, 27(13): 809-812.
- [7] 朱凤冠. 东海陆架区全新世地层中粘土矿物[J]. 东海海洋, 1985, 3(4): 32-51.
- [8] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 37-347.
- [9] 刘光华. 粘土矿物特征与沉积环境关系的初步探讨[J]. 沉积学报, 1987, 5(1): 48-55.
- [10] Zheng, H., Theng, B.K.G. and Whitton, J.S. (1994) Mineral Composition of Loess-Paleosol Samples from the Loess Plateau of China and Its Environmental Significance. *Chinese Journal of Geochemistry*, **13**, 61-72.  
<https://doi.org/10.1007/BF02870857>
- [11] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346.
- [12] 徐昶. 中国一些盐湖粘土矿物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(3): 278-285.
- [13] 内蒙古自治区区域地质测量队. 宝力格幅 1:20 万区域地质调查报告[R]. 北京: 全国地质资料馆, 1975: 58-67.
- [14] 内蒙古自治区地质调查研究院. 新庙幅 1:25 万区域地质调查报告[R]. 北京: 全国地质资料馆, 2008: 62-64.
- [15] 孙黎明, 杨用彪, 吴云霞, 等. 内蒙古西河盆地新近纪“红土”记录的沉积环境[J]. 中国地质, 2008, 35(4): 683-690.
- [16] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 292-310.
- [17] 张荣科, 范光. 粘土矿物 X 射线衍射相定量分析方法与实验[J]. 古铀矿地质, 2003, 19(3): 180-185.
- [18] 陈涛, 王河锦, 张祖青, 等. 浅谈利用黏土矿物重建古气候[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(2): 309-316.
- [19] 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T5163-1996. 沉积岩粘土矿物相对含量 X 射线衍射方法分析[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [20] 董红梅, 宋友桂. 黏土矿物在古环境重建中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(6): 119-130.
- [21] Gingele, F.X., De Deckker, P. and Hillenbrand, C.-D. (2001) Late Quaternary Fluctuations of the Leeuwin Current and Palaeoclimates on the Adjacent Land Masses: Clay Mineral Evidence. *Australian Journal of Earth Sciences*, **48**, 867-874. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.00905.x>
- [22] Keller, W.D. (1970) Environmental Aspects of Clay Minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, **40**, 788-859.
- [23] Dou, Y.G., Yang, S.Y. and Liu, Z.X. (2010) Clay Mineral Evolution in the Central Okinawa Trough since 28 ka: Implications for Sediment Provenance and Palaeoenvironmental Change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **288**, 108-117.
- [24] Elshan, A. and Suzanne, A.G.L. (2016) Provenance of Clay Minerals in the Sediments from the Pliocene Productive Series, Western South Caspian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, **73**, 517-527.
- [25] 蓝先洪. 海洋沉积物中粘土矿物组合特征的古环境意义[J]. 海洋地质动态, 2001, 17(1): 5-7.
- [26] 蓝先洪. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨[J]. 地质科技情报, 1990, 9(4): 31-35.
- [27] 弓虎军, 张飞翔, 黄雷. 甘肃临夏盆地新近纪红粘土粒度组成的古环境意义[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 260-267.
- [28] 彭淑贞, 郭正堂. 风成三趾马红土与第四纪黄土的粘土矿物组成异同及其环境意义[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 277-285.
- [29] 赵景波. 西安, 山西保德第三纪晚期红土的研究[J]. 沉积学报, 1989, 7(3): 113-120.
- [30] 安芷生, 孙东怀, 陈明扬, 等. 黄土高原红粘土序列与晚第三纪的气候事件[J]. 第四纪研究, 2000, 22(5): 435-445.
- [31] 胡建中, 潘勇胜. 内蒙古固阳盆地第三系的发现及其地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 242-246.

- [32] 洪汉烈. 黏土矿物古气候意义研究的现状与展望[J]. 地质科技情报, 2010, 29(1): 1-8.
- [33] 陈涛, 王欢, 张祖青, 等. 粘土矿物对古气候指示作用浅析[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(4): 416-420.
- [34] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. 中国科学 B 辑, 1992(22): 1300-1308.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)