

大连金远洞更新世洞穴红色堆积物粒度特征及沉积环境分析

杨丛宁¹, 张 戈^{1,3}, 刘思昭^{1,2}, 刘 晓¹, 王恒伟¹

1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 大连自然博物馆, 辽宁 大连 116021;
3. 黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨 150001

摘 要: 采用 LS13320 型的激光衍射粒度分析仪对金远洞洞穴堆积物进行粒度分析, 所测得的数据用 Grapher 软件绘制堆积物粒度频率曲线, 计算粒度参数, 以此来研究金远洞更新世洞穴红色堆积物的粒度特征并推断沉积环境。金远洞洞穴堆积物粒度组成中, 粉砂含量最高, 为优势粒组, 平均值为 50.14%, 其中细粉砂含量高于粗粉砂含量; 黏粒含量次之, 砂含量最少。样品粒度频率呈多峰态。通过粒度参数计算, 推测洞穴红色堆积物的沉积环境以风力沉积为主, 后经流水搬运, 但堆积物的组成未发生明显变化, 反映了搬运的水动力较弱。物质来源主要受气候的影响, 环境干冷时以近源沉积为主, 环境温暖湿润时以远源沉积为主。

关键词: 红黏土; 洞穴堆积; 更新世; 粒度分析; 频率累积曲线; 沉积环境; 辽宁省

ANALYSIS ON THE GRAIN SIZE CHARACTERISTICS AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF THE PLEISTOCENE RED CAVE DEPOSITS IN JINYUANDONG, DALIAN

YANG Cong-ning¹, ZHANG Ge^{1,3}, LIU Si-zhao^{1,2}, LIU Xiao¹, WANG Heng-wei¹

1. College of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning Province, China; 2. Dalian Natural History Museum, Dalian 116021, Liaoning Province, China; 3. Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150001, China

Abstract: The LS13320 laser diffraction particle size analyzer is used to analyze the grain size of speleothem in Jinyuandong. The measured data are generated to grain size frequency curves by the Grapher software to calculate the parameters for the study of grain-size characteristics and sedimentary environment of the Pleistocene red cave deposits. The results show that the silt content dominates the size composition, with average value of 50.14%, among which the fine silt is more than coarse silt, followed by clay content, and the sand content is the least. The grain size frequency curves of sediment samples demonstrate multimodal. Based on the calculation of particle size parameters, it is inferred that the sedimentary environment is dominated by wind deposition, which is then transported by running water, yet the compositions of sediments haven't changed significantly, reflecting the weak hydrodynamic force. The material sources are mainly influenced by climate, mostly proximal deposit in dry-cold and far-source deposit in warm-humid environments.

Key words: red clay; cave deposit; Pleistocene; grain size analysis; frequency accumulation curve; sedimentary environment; Liaoning Province

收稿日期: 2018-06-06; 修回日期: 2018-08-13. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金项目“辽宁大连骆驼山金远洞哺乳动物群及生物地层学的系统研究”(编号 41772018).

作者简介: 杨丛宁(1994—), 女, 硕士研究生, 自然地理学专业, 通信地址 辽宁省大连市沙河口区黄河路 850 号, E-mail//yangcn0324@sina.com

通信作者: 张戈(1959—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事水资源与水环境、第四纪地质学研究, 通信地址 辽宁省大连市沙河口区黄河路 850 号, E-mail//zhangge_dl@163.com

0 引言

红黏土指的是古近纪以来发育的一种特殊的土类,主要集中分布于南北纬 30° 之间的热带和亚热带地区,在拉丁美洲、大洋洲、非洲等地均有大面积分布.我国的红黏土主要集中在华南、西南、华东以及华中的部分地区.红黏土粒度大小和粒度分布特征对环境变化反应敏感,其中蕴含着丰富的动植物化石和气候演变信息,对了解古环境、气候演变事件,以及从更长时间尺度上理解古环境变化的特征和规律有着极其重要的意义.

我国学者对于红黏土成因的认识主要有残积成因说^[1]、风成说^[2-3]和水成说^[4].近年来风成说和水成说占主导地位.风成说强调红黏土与第四纪黄土一样为风尘堆积产物.水成说则主张红黏土是高处古土壤和古风化壳被流水冲刷而下,在地势低洼处沉积而成^[5].北方红黏土指的是中国北方第四纪黄土-古土壤序列之下,普遍发育的一套新近纪红色砂质黏土沉积^[6].多数学者认为,北方红黏土主要来源为西北部的戈壁与荒漠地区^[7-8],也有学者认为古风化壳也是红黏土的主要来源^[9].丁仲礼等的研究认为,红黏土的颗粒并没有明显的南北向分异^[10],而苗晓东通过对黄土高原由北到南的6个样品进行分析,发现平均粒径由偏北向南逐渐变细^[11].鹿化煜通过对比黄土、红黏土和河流沉积物的粒度参数、粒度象特征、粒度指数特征,发现红黏土与黄土特征极为相似^[12-13].

大连骆驼山金远洞位于中朝准地台的胶辽台隆Ⅱ

级构造单元的西侧边缘,邻庐断裂带的东侧,复州-大连凹陷Ⅳ级构造单元之上,基底构造层为太古宙片麻岩,围岩主要为马家沟组一段灰色厚-巨厚层泥粉晶灰岩^[14].目前,关于洞穴堆积物中红黏土沉积特征与形成环境的研究相对较少.本文根据中国科学院古脊椎与古动物研究所与大连自然博物馆联合考察发掘确定的基本剖面所取的9个样品进行粒度分析,根据其粒度特征了解金远洞洞穴堆积物的搬运动力和沉积环境.

1 样品采集与分析

1.1 采样地点

采样地点位于辽宁省大连市瓦房店复州湾骆驼山金远洞(见图1),属辽东半岛西南部.该地区属于丘陵地貌,东北面为渤海复州湾,南面为三棱山,西面为山间凹陷盆地,骆驼山为南北走向.金远洞地区地层属于华北地层区大连-复州地层小区.取样位置为沉积剖面上段,厚度约为10 m.采集过程中,按照剖面化石产出层位,从下向上按照50 cm间隔,采集各层最典型的样品,共采集样品9个,标号为Fzw-1到Fzw-9.大连自然博物馆、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所等单位通过对样品进行孢粉、古地磁、光释光测年分析,确定其形成时间为更新世.

1.2 分析方法

粒度分析实验在辽宁师范大学城市与环境学院沉积学实验室进行,使用仪器为LS13320激光衍射粒度分

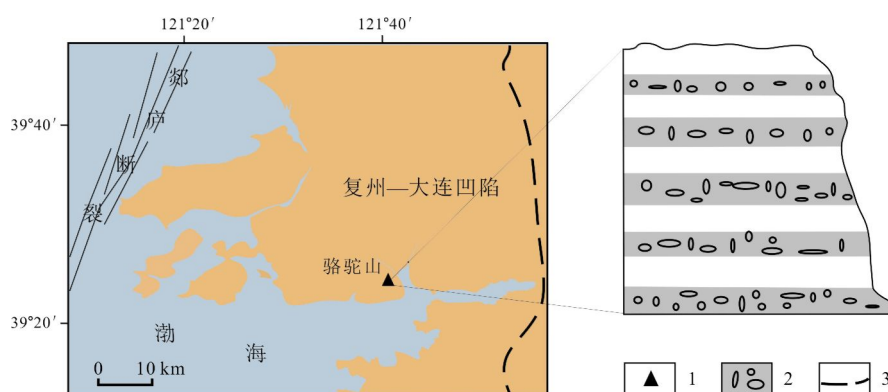


图1 金远洞样点位置示意图

(根据文献[14]修改)

Fig. 1 Sketch map of sampling location in Jinyuandong

(Modified from Reference [14])

1—取样地点(sampling location); 2—化石分布带(fossil zone); 3—构造分区界线(tectonic boundary)

析仪. 相比过筛粒度测量,LS13320 激光衍射粒度分析仪对于不含砾沉积物质的测量更为精确,误差小于1%.

首先,将野外采集样品放入干燥器中进行干燥,除去样品中多余的水分.然后,用电子称称量 0.5 g 的样品,将样品放入 200 mL 烧杯中,依次加入浓度为 30%的 H₂O₂、30%的 HCL 直至完全反应.完全反应后,加入 50 mL 蒸馏水,静置 24 h 以上,颗粒沉降于烧杯底部,上部溶液清澈.根据虹吸现象用胶管抽去悬浮液,加浓度为 0.05 mol/L 的 (NaPO₃)₆ 的分散剂 5 mL.最后,加 50 mL 蒸馏水,加热至沸腾后并持续 5 min,待烧杯内溶液降至常温,并用超声波震荡 60 s 后测量.经过实验测量得出的粒度数据经过激光衍射粒度分析仪处理后输出的粒度组分如表 1 所示.

表 1 金远洞堆积物粒级含量体积分数
Table 1 Grain contents of the sediment samples from Jinyuandong

样品编号	砂/%			粉砂/%		黏土/%
	细砂	中砂	粗砂	细粉砂	粗粉砂	
Fzw-1	33.07	20.07	1.32	14.08	17.68	13.77
Fzw-2	30.45	20.3	1.04	15.36	18.51	14.34
Fzw-3	9.85	0.23	0	44.02	24.47	21.43
Fzw-4	32.84	6.47	0.56	19.19	24.14	16.79
Fzw-5	25.61	4.62	0.69	22.55	25.5	21.03
Fzw-6	18.69	0.51	0	26.72	30.75	23.34
Fzw-7	20	0.75	0	27.42	28.34	23.49
Fzw-8	8.93	0	0	32.93	21.66	36.47
Fzw-9	0.11	0	0	38.14	19.85	41.9

本文采用目前国际上应用最广的粒度分级乌登-温特沃思粒级.它是以 1 mm 作为基数乘以或除以 2 来分级的.后经克伦宾将其转化成 Φ 值.转换公式为:

$$\Phi = -\text{Log}_2 d$$

其中 d 为直径值(mm).

粒度参数计算采用 Folk 和 Ward^[15-16]方法计算各个样品中的平均粒径(Mz)、分选系数(So)、偏态(Sk)和峰度(Kg).

2 结果与讨论

2.1 粒度组成分析

如表 1 所示,Fzw-1 和 Fzw-2 中砂所占比重较大,

黏土含量少,砂含量均达到 50%以上;Fzw-3 样品中粉砂含量占比最大,没有粗砂颗粒;Fzw-4 中粉砂和砂的含量相差不大,细砂含量最大,达到 32.84%;第五层样品中细粉砂含量为 27.11%,是样品粒度中体积含量比重最大的;Fzw-3 是上面 5 层中唯一没有粗砂的样品;Fzw-6 中粉砂占比重达到 50%以上,黏土所占含量比砂的多;Fzw-7 与相邻两层相比,细砂含量相对较多;Fzw-8 和 Fzw-9 两样品中均无中砂和粗砂,黏土和粉砂含量多,Fzw-9 中细砂含量几乎为 0.

根据 Shepard^[17]粒度三角图将样品进行分类(图 2).剖面上部 Fzw-1、Fzw-2 颗粒最粗,属于砂质粉砂;Fzw-4 属于砂质粉砂;Fzw-5、Fzw-7 三种粒度组分含量较为均衡,其余样品大致粒度组成相似,属于黏土质粉砂.总体来看,粉砂质是优势粒组分,其含量维持在 31%~67%之间,砂质含量相对较少,黏土质含量随着深度变浅(由 Fzw-1 至 Fzw-9)呈增加趋势.说明随着时间变化,外力搬运作用减弱,细颗粒物得以沉积.

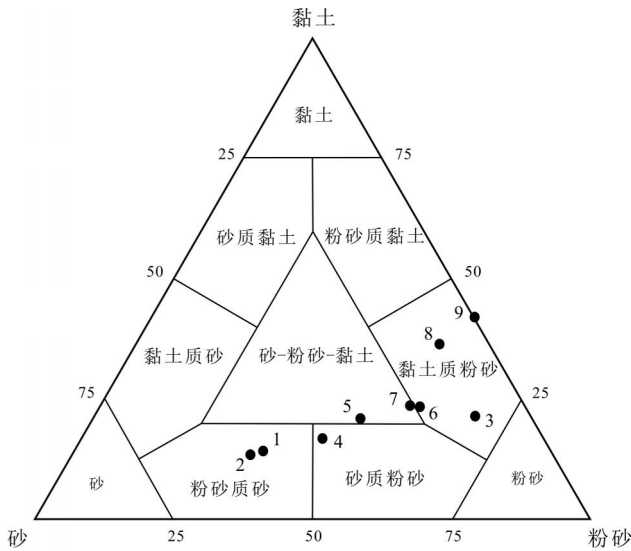


图 2 样品粒度组成三角图解

Fig. 2 Triangular diagram of sand-silt-clay for the sediment samples

堆积物粒度分布的频率与概率累积曲线常用来描述样品总体的粒度特征.频率累积曲线可以清楚地表明堆积物粒度的分布特点、分选程度、众数及中值粒径等,指示了堆积物搬运介质的动力特征,较为直观地显示样品中各粒级的相对含量及其对粒度总的贡献.粒度概率累积曲线则能体现组分含量随粒度的变率,可

根据其粒度变率的变化特征,判断其沉积动力的大小及沉积物的形成环境^[18-19]。样品的粒度分布曲线(图3)反映了样品的各粒级相对含量,样品的粒度组成具有极大的差异性。从图3中可看出样品粒度频率曲线多为不对称的多峰态,概率累积曲线包含推移质、跃移质、悬移质3种类型。Fzw-1、Fzw-2、Fzw-4频率曲线表现为尖锐的正偏形态,粗颗粒组含量集中;概率累积曲线表现为推移质含量偏高。Fzw-8、Fzw-9频率曲线大致呈对称形态,说明粒度组分分布均匀,沉积环境相对稳定。其余频率曲线基本成双峰分布,概率累积曲线形式复杂,说明物质来源多样,外部沉积动力变化较大。

2.2 粒度参数分析

根据粒度参数值(表2)可看出,样品的平均粒径在5.37~52.27 μm 范围之内,平均粒径从上到下逐渐变小。分选性的好坏依据费里德曼的标准进行分级,

当分选系数大于2.5时,表示分选系数极差,故9个样品的分选性都极差。分选系数常被用作环境指示,最坏的分选系数代表粗粒沉积。造成分选性差的可能性有3种,一是复杂环境中动力有较大的波动变化,二是当沉积物受到两种或者两种以上的沉积作用,三是距离物源区近。偏态用来判别分布的对称性,若为负偏,则表示堆积物是粗偏,正偏则是细偏。Fzw-1和Fzw-2为极正偏,Fzw-4、5、6为负偏,Fzw-3、7、8、9为近对称。峰态是衡量分布曲线的峰凸程度,Fzw-1、2、4、5、8、9为宽峰,Fzw-6、7为中等峰,Fzw-3为尖峰。峰度的尖度反映了堆积的速率,尖峰态值反应的是快速堆积过程,而宽峰态值则反映低速的堆积过程,样品的峰度0.80~1.18之间。从粒度参数的分析上来看,样品的粒度参数变化较大,沉积环境变化大。可能是在多种作用力形成的沉积,偏态大多为负,说明可能有水的作用参与分选过程。

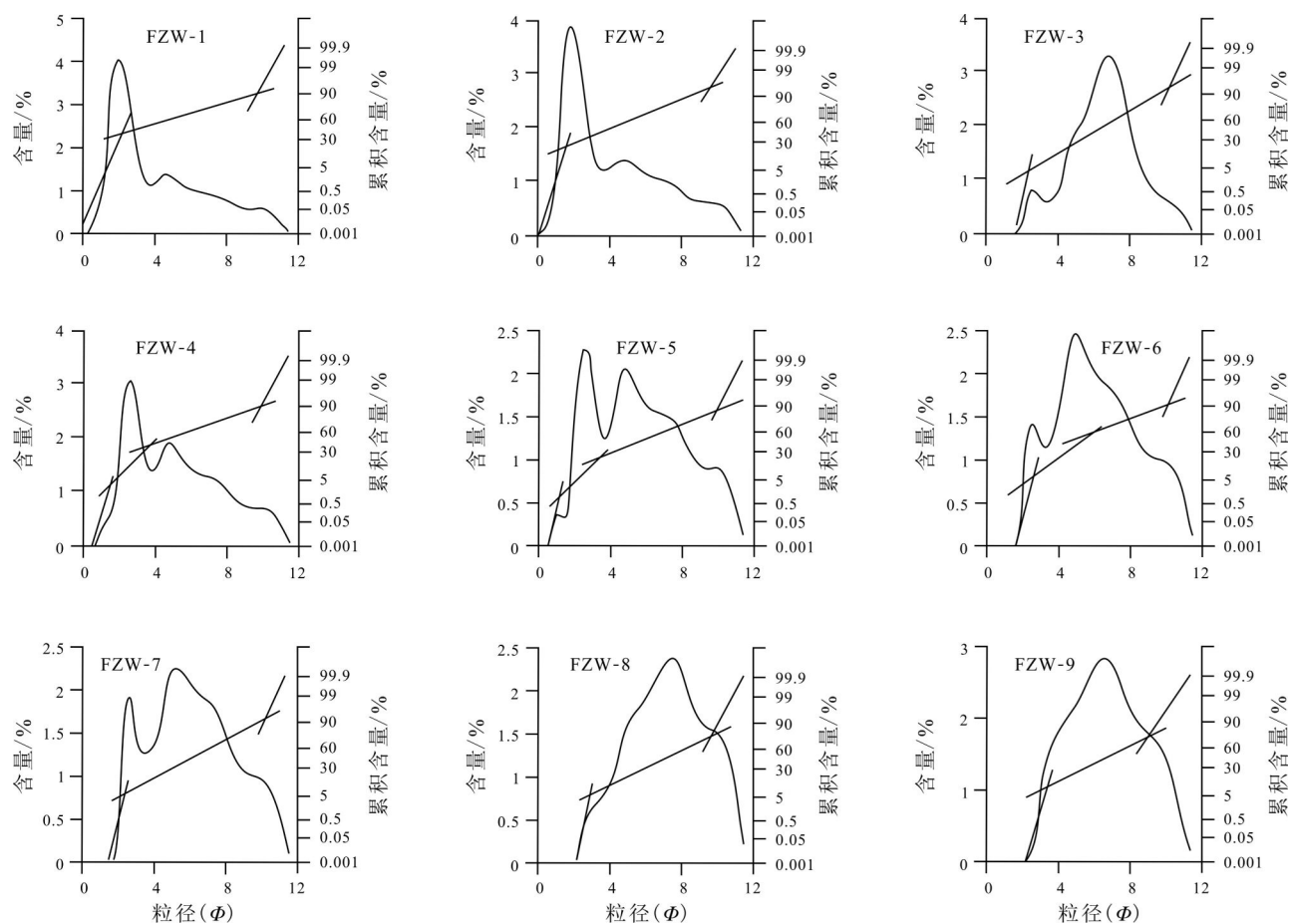


图3 不同深度粒度频率曲线与概率累积曲线

Fig. 3 Grain size distribution and probability cumulative curves at different depth

表 2 样品粒度参数值
Table 2 Grain size parameters of samples

样品编号	平均粒径/ μm	分选性	偏态	峰度
FZW-1	52.57	6.58	-0.46	0.83
FZW-2	47.65	6.74	-0.37	0.80
FZW-3	11.11	3.88	0.07	1.18
FZW-4	30.28	6.16	-0.22	0.81
FZW-5	22.12	6.49	-0.12	0.81
FZW-6	14.84	5.38	-0.12	0.95
FZW-7	15.56	5.72	-0.07	0.95
FZW-8	7.25	4.80	0.03	0.90
FZW-9	5.37	3.59	-0.04	0.87

3 沉积环境分析

对比金远洞洞穴红色堆积物和黄河中下游府谷三趾马红黏土、中亚热带第四纪红黏土,发现金远洞红色堆积物的砂粒成分相对较多,可能是因为受到近源搬运和水流动力的影响.而粉砂分布和黏土分布有很大的相似性,说明它们具有共同的成因,经历过强烈的风化成壤作用.通过对比七顶山、庙岛群岛的红色风化壳^[20-21],发现颗粒相似性大,粒度含量所指示的搬运动力和形成环境也具有一定的相似性.故金远洞堆积物的初始沉积为风力搬运.但金远洞处于滨海地区,形成环境湿润,临近洞穴存在地下河(湖)沉积,流水作用会对堆积物产生一定影响,使得金远洞的颗粒更为细腻.

结合洞穴堆积物中化石的形成时间和埋藏方式进行分析,堆积物中含有桑氏硕鬣狗、板齿犀、轴鹿、丽牛、巨副驼、巨颞虎等哺乳动物的化石,这些化石多形成于更新世时期^[22-23].同时取得的金远洞上部堆积物中发育的钙板层年龄样,经不平衡铀系法测定为距今0.5~0.32 Ma,时代为中更新世.更新世时期气候和环境多变,发生冰期和间冰期气候回旋.当气候温暖湿润,受到冬季风的影响可能较大,即此时远源占主导地位;当气候变干冷,渤海逐渐出露以湖泊为主的陆相沉积,蒙古冷高控制着辽东湾甚至渤海,海洋气候受到破坏,东南风势力被削弱,强大的低空气流携带冰期出露的砂砾层中的粗颗粒向东南移动,即此时近源占主导地位,而高空中携带的少量的内陆远源粉尘也参与了

金远洞洞穴堆积过程.

4 结论

(1)从金远洞红色堆积物的粒度的组成特征来看,粉砂(0.004~0.063 mm)为优势粒组,平均值为55.10%;黏粒(<0.004 mm)含量次之,砂粒(0.063~2 mm)含量最少.其中风成基本粒组平均值为31%,含量较高,推测其形成有一定的风成特点.从粒度参数来说,又有水动力搬运的参与.

(2)剖面物质更新世以来受到气候影响,当气候温暖湿润,受到冬季风的影响可能较大,即此时远源占主导地位;当气候变干冷,渤海出露的陆相沉积即近源占主导地位.最早的物质来源来自风动力的搬运,随后又经历了流水作用的改造.但是由于搬运的水动力较弱,搬运距离较短,堆积物的组成成分并未发生明显的变化.

参考文献:

[1]陈砾,陈骏,刘连文.甘肃西峰晚第三纪红粘土的化学组成及化学风化特征[J].地质力学学报,2001,7(2):168-175.
[2]熊平生.赣南地区网纹红土的形成及其环境变化研究[D].重庆:西南大学,2012:1-117.
[3]谭红兵,马海州,鹿化煜.高原黄土Sr、CaO的古气候意义以及记录的环境变化[J].地球化学,2002,31(5):410-414.
[4]董玉祥.海岸现代风成砂粒度参数特征的研究——以中国温带海岸为例[J].沉积学报,2002,20(4):657-622.
[5]熊平生,罗文.中国南方第四纪红粘土的成因研究——以赣州盆地为例[J].地层学杂志,2013,37(3):336-342.
[6]王敏杰,郑乐平,郑洪波,等.中国北方红粘土研究进展及问题[J].海洋地质动态,2010,26(9):11-18,34.
[7]吕连清,方小敏, Mason J A,等.8.1 Ma以来朝那黄土-红粘土剖面粒度揭示的冬季风与北半球高纬气候的耦合演化[J].中国科学: D 辑(地球科学),2001(S1):149-154.
[8]孙有斌,孙东怀,安芷生.灵台红粘土-黄土-古土壤序列频率磁化率的古气候意义[J].高校地质学报,2001,7(3):300-306.
[9]唐自华,穆桂金.晚新生代中国北方风尘沉积的可能物源及变化[J].干旱区地理,2006,29(1):101-108.
[10]丁仲礼,杨石岭,孙继敏,等.2.6 Ma前后大气环流重构的黄土-红粘土沉积证据[J].第四纪研究,1999,19(3):277-281.
[11]苗晓东,孙有斌,鹿化煜.黄土高原晚上新世红粘土粒度的空间变化[J].沉积学报,2001,19(2):182-185.
[12]鹿化煜,安芷生.黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比-红粘土风成成因的新证据[J].沉积学报,1999,17(2):61-67.
[13]鹿化煜,安芷生.黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J].中国科

- 学:D辑(地球科学),1998,28(3):278-283.
- [14]辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- [15]Folk R J, Wari W C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957,27(1):3-26.
- [16]徐兴永,易亮,于洪军,等. 图解法和矩值法估计海岸带沉积物粒度参数的差异[J]. 海洋学报,2010,32(2):80-86.
- [17]田动会,冯秀丽,姜波,等. 埕北海域底质沉积物粒度分布特征及其动力环境意义[J]. 海洋通报,2017,36(5):554-560,577.
- [18]李徐生,杨达源,鹿化煜. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探[J]. 海洋地质与第四纪地质,2001,21(1):25-32.
- [19]弓虎军. 中国黄河中游地区新近纪红粘土的成因[D]. 西安:西北大学,2007.
- [20]曹家欣,严润娥,王欢. 山东庙岛群岛的红色风化壳与棕红土及其古气候意义[J]. 中国科学:B辑,1994,24(2):216-224.
- [21]魏东岚,沈俊杰,李永化. 红色风化壳地球化学特征及对古气候演变的响应——以辽南石槽剖面为例[J]. 地理科学,2018,38(2):307-313.
- [22]江左其杲,刘思昭,王元,等. 大连骆驼山金远洞埃楚斯堪熊(*Ursus etruscus*)新材料及中国 *Ursus cf. etruscus* 材料的简要回顾[J]. 第四纪研究,2017,37(4):828-836.
- [23]刘思昭,王元,董为,等. 大连复州湾骆驼山金远洞 2016 年发掘简报[J]. 第四纪研究,2017,37(4):908-915.