

doi:10.3799/dqkx.2015.175

哈尔滨黄山黄土粒度特征及其对成因的指示

魏传义¹, 李长安^{1,2*}, 康春国³, 常国瑞¹

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 哈尔滨学院理学院, 黑龙江哈尔滨 150086

摘要: 哈尔滨黄山黄土是东北地区黄土沉积的典型代表, 其成因研究是恢复东北地区古气候和古环境的基础。为探讨松嫩平原地区中更新世晚期黄土成因问题, 对具代表性的哈尔滨黄山黄土剖面进行系统、高分辨率的粒度和磁化率特征分析, 并与哈尔滨现代沙尘沉降物、黄土高原典型黄土—古土壤、现代河流沉积物及大连市滨海黄土粒度特征进行对比。结果显示: 黄山黄土粉砂级($10\sim50\ \mu\text{m}$)颗粒和黏土颗粒($<5\ \mu\text{m}$)的平均含量分别是43.86% (主众数粒组) 和23.40% (次众数粒组); 各粒度参数的平均值为: 分选系数标准偏差 $\sigma=1.83$ 、平均粒径 $Mz=6.25\varphi$ 、中值粒径 $Md=5.89\varphi$ 、偏度 $SK=0.21$ 、峰态 $KG=0.86$ 、中值粒径 $Kd=2.01$; 粒度频率曲线以双峰态分布为主, 且主峰突出; 岩性三角投影图、粒度象(C-M图、L-M图、A-M图)投影图及粒度参数($Mz-\sigma$ 、 $Mz-SK$ 、 $Mz-KG$)散点投影图与风成沉积物基本一致, 但与河流沉积物差异明显; 判别函数 $Y<0$ 。基于以上粒度特征分析表明哈尔滨黄山黄土为典型的风成成因。

关键词: 松嫩平原; 黄山黄土; 粒度特征; 风成成因; 沉积物。

中图分类号: P534.63

文章编号: 1000-2383(2015)12-1945-10

收稿日期: 2015-06-05

Grain-Size Characteristics and Genesis of the Huangshan Loess in Songnen Plain Area

Wei Chuanyi¹, Li Chang'an^{1,2*}, Kang Chunguo³, Chang Guorui¹

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, Wuhan 430074, China

3. School of Science, Harbin University, Harbin 150086, China

Abstract: Huangshan Loess makes a typical example of Northeast China's loess deposition, studying its genesis is the key to reconstruction of both paleoclimate and paleoenvironment of Northeast China. A high resolution and systematic grain size analysis is carried out on "Huangshan Loess" in Harbin area, and the origin of "Huangshan Loess" is discussed in this paper in comparison with many other types of sediment including the modern dust deposition in Harbin area, the loess-palaeosol distributed over the Loess Plateau, the fluvial sediment and Qidingshan Loess in Dalian. The results show that: the $10\sim50\ \mu\text{m}$ partial group is the "dominant group" of the "Huangshan Loess" whereas the content of $<5\ \mu\text{m}$ particals occupies 23.40%, which is more than the average content of $>50\ \mu\text{m}$ and $5\sim10\ \mu\text{m}$ particals, corresponding with the composition characteristic of typical eolian loess; The grain-size frequency distribution presents even-number peak and each of these features of grain size parameters are characterized by the atmospheric dust, the average of the σ , SK , KG , Kd , Mz , Md is 1.83, 0.21, 0.86, 2.01, 6.25φ , 5.89φ , respectively; Clay-silt-sand triangular plots of "Huangshan Loess" indicate that it belongs to clayey silt. C-M, L-M, A-M charts and statistical indices of grain size distribution share similarities with various aeolian sediments while obviously differ from fluvial sediments. No one discriminant analysis results is of positive value, which confirms that the "Huangshan Loess" is of the atmospheric sediment just like the aeolian origin of the loess-palaeosol in the Chinese plateau.

Key words: Songnen Plain area; Huangshan Loess; grain size features; eolian origin; sediments.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.41440002)。

作者简介: 魏传义(1990—), 男, 硕士, 主要从事第四纪沉积与环境变化研究。E-mail: weichuanyi@126.com

* 通讯作者: 李长安, E-mail: chanli@cug.edu.cn

引用格式: 魏传义, 李长安, 康春国, 等. 2015. 哈尔滨黄山黄土粒度特征及其对成因的指示. 地球科学——中国地质大学学报, 40(12): 1945—1954.

0 引言

黄土分布广泛、沉积连续、堆积时间长,是记录晚新生代古气候与古环境变化的良好信息载体(刘东生等,1985,1991;Pye,1987;Sun *et al.*,1998;Lu and An,1998;鹿化煜和安芷生,1999;孙东怀等,2000).大量研究成果表明:中国黄土—古土壤序列粒度特征对全球性高空西风漂流及东亚冬季风的演变具有良好的指示意义;近年来随着科学的研究方法的不断深入与发展,黄土—古土壤的粒度特征也被广泛地应用于黄土成因机制的研究,并取得了一系列的成果(鹿化煜和安芷生,1999;李徐生等,2001;郑祥民和刘飞,2006;孙东怀和鹿化煜,2007;李长安等,2010;任少芳等,2014).

由于黄土沉积的重要的古环境意义,近年来黄土高原之外的黄土研究引起人们的关注。东北地区也是我国黄土研究的重点区域之一,该地区黄土呈斑状分布于长白山的西麓至辽东半岛东沿,迄今发现的厚度较大的露头主要分布在松嫩平原的东部,以哈尔滨黄山黄土为代表,是研究东北地区古气候和古环境的热点区域(李雪铭,2001;孙建中,2005;张威等,2010;戈双文等,2013;曹振和朱晓东,2014)。前人曾对黄山黄土的地层划分和形成年代做过大量的调查和研究,但限于当时的历史条件和工作性质,对黄山黄土的研究工作侧重于宏观定性描述与区域对比,不仅划分比较粗略,依据缺乏,研究结果也不尽统一。鉴于黄土成因在古环境研究中的

基础意义,关于黄山黄土的成因研究最受关注,但目前仍看法不一,主要存在风成与水成之争(帕夫林诺夫等,1956;夏玉梅等,1983;初本君等,1988;曾琳等,2011).

沉积物的粒度组成是搬运介质动力条件和搬运方式的直接反映,因此对沉积物进行系统、高分辨率的粒度分析研究,可以很好地揭示出其成因问题。本文通过对黄山黄土剖面粒度特征的系统地定量分析,并与黄土高原典型黄土—古土壤、大连市七顶山滨海黄土、哈尔滨现代风尘沉降物及河流沉积物粒度特征进行对比(刘东生等,1985;李雪铭,2001;何葵等,2005;谢远云等,2005;李长安等,2010;张威等,2010;康春国等,2011),以期从沉积物粒度特征的角度解答黄山黄土的成因问题,为后续讨论松嫩平原地区晚新生代以来古气候演化的黄土记录及物质来源的确定提供基础,同时为哈尔滨地区沙尘天气的防治提供一定的参考。

1 研究区概况

哈尔滨($N\ 44^{\circ}04' \sim N\ 46^{\circ}40'$, $E\ 125^{\circ}42' \sim E\ 130^{\circ}10'$)地处松嫩平原东部,冬长夏短,温度季节变化大、风力强劲且持续时间长,这种典型的温带半湿润、半干旱大陆性季风气候为现代沙尘天气提供了丰富的物质来源与驱动力。松嫩平原(图 1)三面环山,西接大兴安岭、北临小兴安岭、东靠长白山,为半封闭不对称盆地。松嫩平原由中生代断陷盆地发展

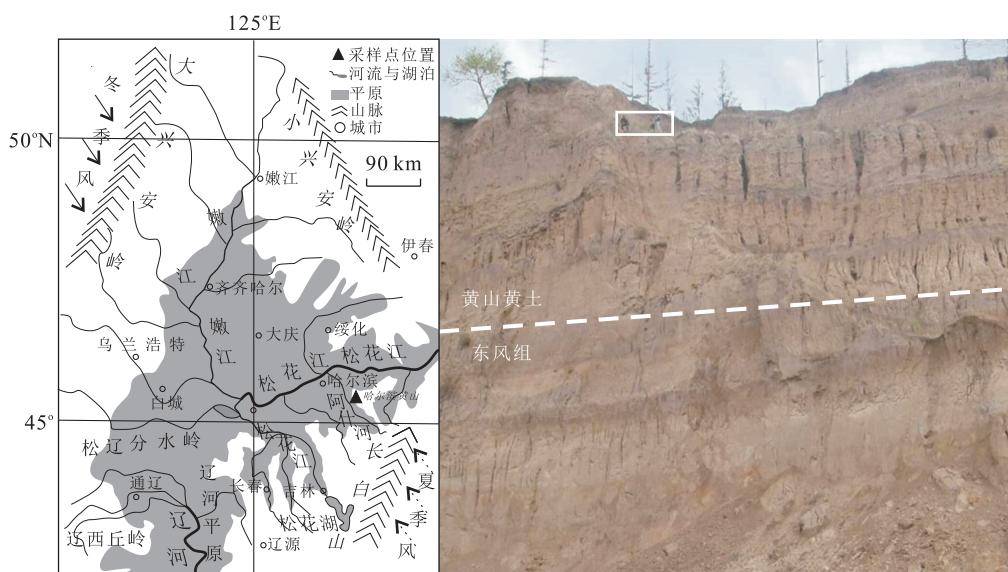


图 1 采样剖面及研究区概况

Fig.1 The overview of research area and sampling locations

而来,新生代以来新构造运动对其发展起了主要作用;全新世风沙、干旱同期,泥炭、沼泽发育(王璟璐,1993;万波和钟以章,1997).青藏高原隆升使得北半球中纬度环球高空西风带不断经过本区,加上春季西伯利亚和贝加尔湖高压系统在松嫩平原地区加强发展,受以上因素的双重影响,本区产生持久的大风,且风旱同期造成上风向地表侵蚀加强,下风向地区风砂堆积强烈(李崇银等,2004).

2 剖面特征和样品的采集与测试

2.1 剖面地层与年代

研究区位于哈尔滨市道外区东风镇黄山剖面(图1).黄山(又名荒山、天恒山、鸡公山)地层剖面,是研究松嫩平原地区第四纪地层的重要剖面之一,对于它的地层划分,前人已做了系统的年代地层学和磁性地层学研究(卫奇,1979;孙建中等,1982;吴锡浩等,1984;初本君等,1988),获得了相对一致的结果.根据黄土的地质特征(明显的黄土与古土壤旋回)及粒度和磁化率特征(图2),笔者采用孙建中等(1982)和吴锡浩等(1984)对黄山的地层划分和年龄测定,将黄山剖面哈尔滨黄土年龄限制在 192 ± 9.6 ka B.P. $\sim 136 \pm 6.8$ ka B.P.(TL),哈尔滨黄土属中更新世晚期的产物,相当于上部离石黄土,下伏中更新世中期东风组河湖相沉积物(图1),两者呈整合接触关系(图

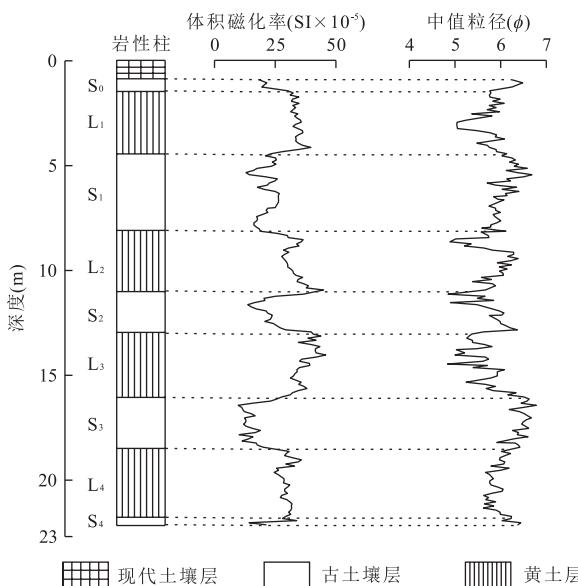


图 2 黄山剖面哈尔滨黄土岩性柱和中值粒径、体积磁化率变化曲线

Fig.2 Lithological column, median diameter and magnetic susceptibility curve of Huangshan Loess

1).此外,图2显示,黄山剖面黄土层磁化率整体偏高,古土壤层磁化率整体偏低,这种变化与中国黄土高原典型黄土—古土壤磁化率变化曲线截然相反,而与阿拉斯加、西伯利亚的黄土—古土壤磁化率变化特征相一致(朱日祥等,2000;刘秀铭,2007a,2007b),限于本文主要讨论成因问题,其古气候、古环境演化、磁化率变化特征及物源等信息将另文论述.

2.2 剖面特征

哈尔滨黄山黄土剖面位于哈尔滨市东郊,距市中心大约3 km,东南为丘陵区,南面与松嫩平原相接,西临阿什河,北靠松花江干流,地貌上构成松花江二级阶地(王璟璐,1993).研究剖面走向近南北,上部为现代土壤层,大约0.8 m,其下是古土壤与黄土互层.

基于野外观察的采样剖面沉积物颜色、岩性、沉积结构特征和层间接触关系等,结合厚度测量,黄山剖面哈尔滨黄土自上而下岩性描述为:

(1)表土层:现代土壤层,黑灰色,结构疏松,含较多虫孔和植物根系,受流水和生物扰动明显,厚0.8 m,未取样;

(2)古土壤层(S0):灰褐色粉砂质黏土,结构较密实呈团块状构造,微具水平层理,可见植物根系,厚0.6 m,取样:LD 1-3;

(3)黄土层(L1):上部棕黄色黏土质砂,结构密实,纵向解理发育;下部黄褐色砂质粉砂,厚2.9 m,取样:LD 4-32;

(4)古土壤层(S1):灰褐色粉砂质黏土,结构疏松,其中含较多现代植物根系,微见斜层理,铁锰薄膜较发育,厚3.9 m,取样:LD 33-72;

(5)黄土层(L2):棕黄色砂质粉砂,部分层位含黑色碳屑,结构疏松,发育有少量钙质结核,厚2.8 m,与下部古土壤层为不整合接触关系,取样:LD 73-101;

(6)古土壤层(S2):灰褐色粉砂质黏土,含有粗砂颗粒,铁锰薄膜发育,风化严重,结构密实粘结力强,疑为古风化壳,厚2.0 m,取样:LD 102-122;

(7)黄土层(L3):棕黄色砂质粉砂,发育沙量钙质结核,厚3.0 m,取样:LD 123-153;

(8)古土壤层(S3):整体上为灰褐色粉砂质黏土,部分层位颜色混杂,铁锰薄膜发育,含粗颗粒物质,厚2.3 m,取样:LD 154-177;

(9)黄土层(L4):棕黄色砂质粉砂,厚3.7 m,取样:LD 178-205;

(10)古土壤层(S4):灰褐色粉砂质黏土,厚0.5 m,取样:LD 206-210.

根据以上描述,除去顶层现代土壤层及底层古土壤层(此层及以下为非本次研究对象),剩余8层可划分为4个黄土—古土壤地层旋回(图2),这也与野外观察的地层特征相符(图1).

2.3 样品采集与测试

样品采集以剖面上部为起点,自上而下采集厚度为0.80~22.13 m,在0.80~1.38 m以20 cm为间隔取3个样品,1.38~22.13 m以10 cm为间隔取样,剖面分层位等距共采得粒度、磁化率分析样品210件.粒度测试在信阳师范学院粒度分析实验室

完成,仪器为英国 Malvern 公司生产的 Master-sizer 2000 激光粒度仪,粒度测试范围为 $0.01 \sim 2000 \mu\text{m}$,重复测量误差小于 2%,测试获得 210 件样品粒度组成的体积百分含量、频率曲线及其他各种粒度参数;磁化率测试在中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院,采用仪器为捷克 AGICO 公司生产的旋转卡帕桥仪(KLY-3S)测定,该仪器测量精度为 $1.2 \times 10^{-8} (\text{SI})$ 。

3 结果与讨论

3.1 粒度组成特征及对成因的指示

本文以 $5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 作为黏粒、细粉砂、粗粉砂及粗砂组分之间的分界线。测试结果(表1,图3)分析显示,哈尔滨黄山黄土粗砂级($>50\text{ }\mu\text{m}$)含量范围为8.35%~57.22%,平均含量为17.54%;粗粉砂级($10\sim50\text{ }\mu\text{m}$)含量范围为31.35%~52.38%,平均含量为43.86%,是该剖面的第1粒组(主众数粒组);细粉砂级($5\sim10\text{ }\mu\text{m}$)含量范围为3.78%~20.97%,平均含量为15.19%;黏粒级($<5\text{ }\mu\text{m}$)含量范围为4.75%~32.98%,平均含量为23.40%,是该剖面的第2粒组(次众数粒组)。

根据 Shepard(1954) 和 Link(1966) 混积岩分类方案(图 3), 哈尔滨黄山黄土绝大多数属于粉砂, 尤以黏土质粉砂为主。前人研究成果表明粗粉砂级

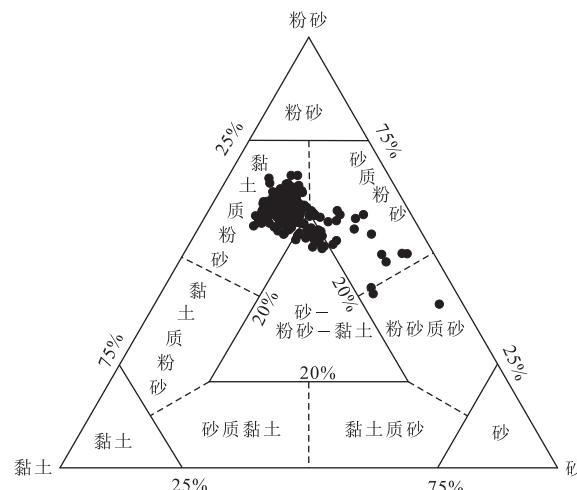


图 3 呂爾濱黃山黃土岩性三角圖

Fig.3 Clay-silt-sand triangular plots of “Huangshan Loess” in Harbin area

据 Shepard(1954); Link(1966)

组分是“风成基本粒组”，为典型风成黄土的主要构成粒组（刘东生等，1985）；黏粒级组分是典型风成黄土的“挟持粒组”，为典型风成黄土的次众数组分，代表了典型风成黄土地区大气粉尘的本底，反映的是一种经常性的降尘过程。根据表1、图3，一方面可以看出黄山黄土与黄土高原典型风成黄土和哈尔滨现代沙尘沉降物的粒度组成非常相似（均在风尘粒组范围内），而明显区别于河流相沉积物（以滚动组分的粗颗粒为主），很好地指示了其风成成因特征。

表1 黄山黄土粒度组成与不同类型沉积物的对比

Table 1 Comparison of grain size composition between Huangshan Loess and different sediments

采样地点	度量属性	粒级(%)				来源文献
		>50 μm	10~50 μm	5~10 μm	<5 μm	
哈尔滨黄山黄土	全样最大值	57.22	51.15	19.96	31.41	本文数据
	全样最小值	10.03	31.60	3.78	4.75	
	全样平均值	18.51	43.94	14.64	22.91	
哈尔滨黄山古土壤	全样最大值	44.91	52.38	20.97	32.98	本文数据
	全样最小值	8.35	31.35	4.27	5.34	
	全样平均值	15.88	43.72	16.15	24.26	
哈尔滨现代沙尘沉降物	全样最大值	21.70	52.00	49.46	22.19	谢远云等(2005); 何葵等(2009)
	全样最小值	2.89	25.44	19.20	7.10	
	全样平均值	9.04	36.29	36.93	17.67	
现代河流沉降物	全样最大值	91.60	45.40	17.70	7.00	李长安等(2010)
	全样最小值	30.80	2.30	2.30	0.00	
	全样平均值	77.40	15.80	5.00	1.80	
大连市七顶山黄土	全样最大值	59.17	79.76		2.44	吕金福和李志民(1990);
	全样最小值	17.61	49.06		0.17	张威等(2008);
	全样平均值	31.91	66.94		1.15	刘庆宏和贾亮(2010)
洛川剖面(离石上部)	黄土	10.00	52.70	11.00	26.30	刘东生等(1985)
	古土壤	7.10	45.70	12.70	32.00	

一方面还可以看出哈尔滨现代沙尘沉降物的砂级、粗粉砂级含量较黄山黄土皆偏少,其原因可能是地球如今处于全新世大暖期阶段,与中更新世晚期相比冬季风减弱、夏季风增强,由此风所携带的粗砂级以上含量减少,这也造成“挟持粒组”含量的减少,但相比之下,哈尔滨现代沙尘沉降物沉积时间较短,风化成壤作用较弱,所形成的黏粒组分较少(任建璋等,1997;蔡茂堂和魏明建,2009).因此造成历史时期黄土沉积物粒度偏粗于现代沙尘沉降物.当然,也不排除由于黄山黄土位于松花江的二级阶地,在其堆积过程中有附近河流物质加入的因素.

3.2 粒度参数特征及对成因的指示

粒度参数可以直观表达和描述沉积物的粒度分布特征,与沉积物形成时的沉积环境有很好的相关性.本文所有样品的粒度参数,包括中值粒径(Kd)、平均粒径(Mz)、分选系数(标准偏差 σ)、偏度(SK)、峰态(KG),均根据 Folk and Ward(1957)的算法公式计算所得.

粒度参数数据(表 2)显示,黄山黄土剖面样品平均粒径(Mz)变化范围为 $4.47\varphi \sim 6.67\varphi$,平均值为 6.26φ ;中值粒径(Md)变化范围为 $4.11\varphi \sim 6.78\varphi$,平均值为 5.899φ ;分选系数(标准偏差 σ)变化范围为 $1.16 \sim 2.05$,平均值为 1.83 ;偏度(SK)变化范围为 $-0.04 \sim 0.49$,平均值为 0.21 ;峰态(KG)变化范围为 $0.75 \sim 1.53$,平均值为 0.86 .综合分析上述粒度参数结果,哈尔滨黄山黄土与哈尔滨现代风尘沉降物、大连市七顶山黄土以及下蜀黄土的粒度参数特征相似,明显地指示出其风成成因.但表 1 和图 3 中还值得一提的是,哈尔滨黄山黄土沉积物中

粗砂级组分平均含量达到 17.54% ,大于我国黄土高原典型黄土同粒径级平均含量(一般 $\leq 10\%$),而远小于同属东北地区黄土沉积的大连市七顶山滨海黄土粗砂级平均含量(31.91%).究其原因前者可能由于是黄山黄土剖面处于平原地区的河流阶地,在其形成时有部分河流相物质混入引起的;后者可能是由于七顶山离海岸较近,海岸粗颗粒物质在海岸风的作用下常以近距离、低空搬运的方式进行沉积形成滨海黄土,故其沉积物粒度组成与粒度参数变化范围更大(吕金福和李志民,1990;张威等,2008;李丽,2009;刘庆宏和贾亮,2010).

3.3 Kd 值特征及对成因的指示

拜格诺的风洞实验和黄土研究成果表明:干冷环境下冬季风对粉尘的产生和扬起占主导地位,而黏粒不仅可以附着在粉尘颗粒表面被携带至堆积区,而且还可以依靠粗颗粒跳跃撞击而被扬起(西风漂流对黏粒级组分的运移起着主要作用). Kd =粗粉砂($10 \sim 50 \mu\text{m}$)/黏粒($< 5 \mu\text{m}$),其变化既受风尘来源区干湿状况或生物气候条件的制约,又受沉积区风化成壤作用的制约.所以, Kd 值的大小波动可以反映冬、夏季风和西风漂流在黄土形成中的作用机制(胡碧茹和卢演伟,1989).表 2 中数据显示黄山黄土的 Kd 值变化范围为 $1.11 \sim 8.51$,平均值为 2.01 .与哈尔滨现代风尘沉降物(2.64)、风成下蜀黄土(1.76)和洛川剖面黄土(1.55)的平均 Kd 值相近,从这个意义上表明哈尔滨黄山黄土应属于风成沉积物.然而,黄山黄土粒度特征显示的风动力比黄土高原地区更为强劲,其原因可能是中更新世晚期松嫩平原地区延续前期气候特征,全球范围内特别

表 2 黄山黄土与不同类型沉积物粒度参数的对比

Table 2 Comparison of grain size measured between Huangshan loess and different sediments

采样地点	度量属性	粒度参数					来源文献
		$Md(\varphi)$	$Mz(\varphi)$	σ	SK	KG	
哈尔滨黄山黄土	全样最大值	6.68	6.67	2.05	0.49	1.53	8.51
	全样最小值	4.11	4.47	1.16	-0.04	0.75	1.11
	全样平均值	5.89	6.25	1.83	0.21	0.86	2.01
哈尔滨现代风尘沉降物	全样最大值	28.40	2.08	0.18	1.49	7.30	谢远云等(2005); 何葵等(2009)
	全样最小值	8.44	1.50	-0.02	1.04	1.15	
	全样平均值	13.87	1.78	0.09	1.17	2.64	
下蜀黄土	全样最大值	7.23		1.86	0.83		2.71
	全样最小值	6.27		1.38	0.36		1.29
	全样平均值	6.65		1.75	0.52		1.76
大连市七顶山黄土	全样最大值	5.72	5.20	2.21	0.41	1.14	吕金福和李志民(1990);
	全样最小值	2.83	3.44	1.61	-0.39	0.69	张威等(2008);
	全样平均值	4.81	4.56	1.90	-0.16	0.81	刘庆宏和贾亮(2010)

注:表中 Md 为中值粒径; Mz 为平均粒径; σ 为分选系数(标准偏差); SK 为偏度; KG 为峰态; Kd 值=粗粉砂($10 \sim 50 \mu\text{m}$)/黏粒($< 5 \mu\text{m}$).

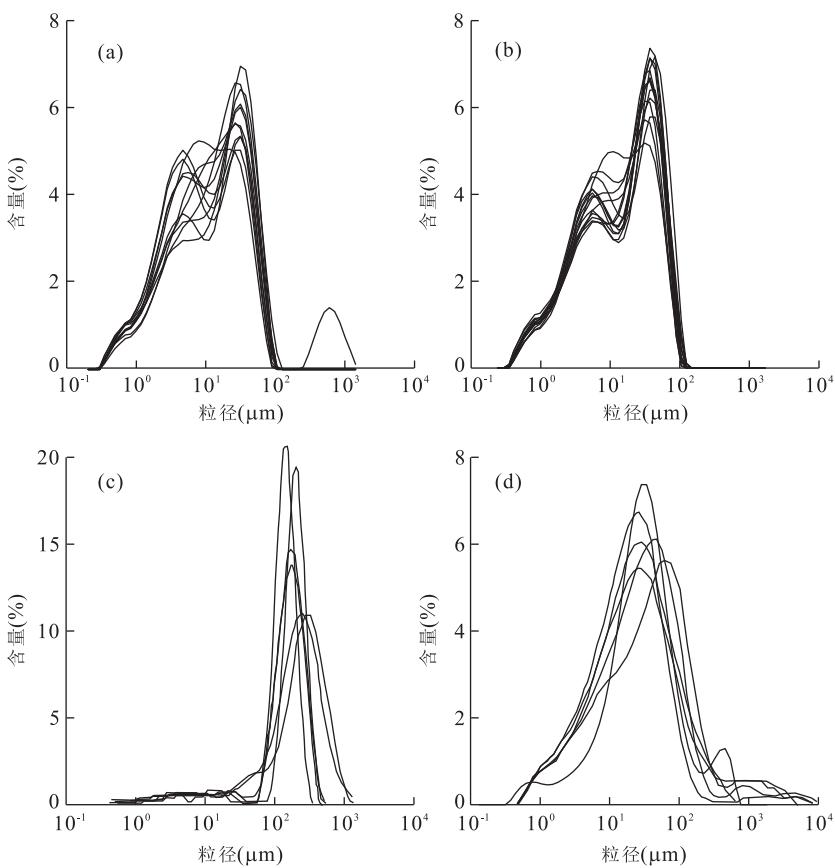


图 4 不同类型沉积物粒度频率曲线分布

Fig.4 Grain size frequency distribution curves of different sediments

a.哈尔滨黄山古土壤;b.哈尔滨黄山黄土;c.松花江哈尔滨段河流沉积物(据何葵等,2008);d.哈尔滨现代沙尘沉降物(据何葵等,2009)

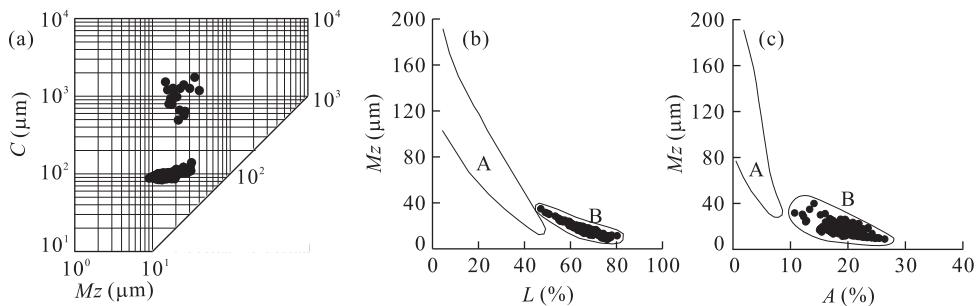


图 5 哈尔滨黄山黄土与河流沉积物粒度象对比

Fig.5 Comparison of grain size images of Huangshan Loess and fluvial sediment

a.C-M 图;b.L-M 图;c.A-M 图;C 值为百分之一含量的粒度;L 值为 $<30 \mu\text{m}$ 组分的重量百分数;A 值为 $<4 \mu\text{m}$ 组分的重量百分数;●表示本文“黄山黄土”;A.现代河流沉积物粒度象投影区域;B.风成黄土粒度象投影区域(据李长安等(2010)修改)

是高纬度地区气候干冷,海平面下降,一方面造成西伯利亚地区温度降低、雨雪减少,干旱化加重(为风尘沉积提供了丰富的物源),这样既增加了发源于本区的冬季风强度又为冬季风下风向地区提供了大量的粉砂级颗粒沉积物;另一方面夏季风的后退造成风化成壤作用减弱,使得细颗粒的黏粒组分减少(胡碧茹和卢演伟,1989;王丹萍等,2010;曾琳等,2011).以上双重因素

的影响使得中更新世晚期松嫩平原地区黄土沉积比黄土高原地区砂级颗粒($>50 \mu\text{m}$)含量更多、黏土含量($<5 \mu\text{m}$)相对减少.由此黄山黄土 Kd 值比黄土高原地区大的原因也显而易见,当然这也不排除河谷风携带附近河流物质加入造成这种现象(李丽,2009).

3.4 粒度频率曲线特征及对成因的指示

孙东怀等(2000)的研究结果表明,中国黄土高

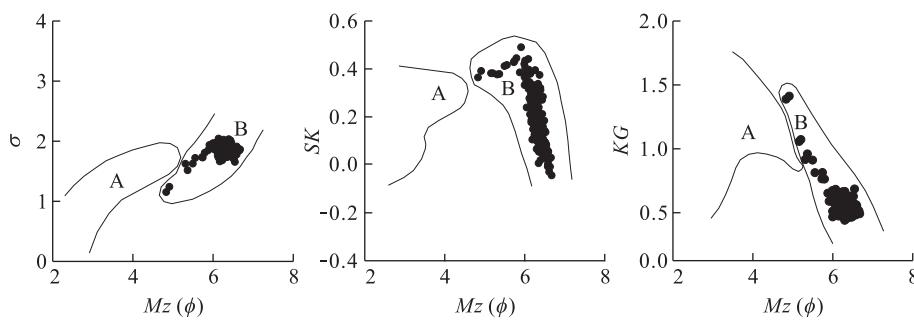


图 6 “哈尔滨黄山黄土”及河流沉积物粒度参数散点

Fig.6 Comparison of scatter diagram of Huangshan Loess and fluvial sediment

●表示本文“黄山黄土”;A.现代河流沉积物参数散点投影区域;B.为风成黄土参数散点投影区域(据李长安等(2010)修改)

原典型黄土的粒度频率曲线由两个分布特征不同的组分组成,第1组分($16\sim32\mu\text{m}$)分布峰度较高、分布粒度范围集中,是黄土组分的主要粒组,对东亚冬季风环流的强度具有良好的指示意义;第2组分($2\sim4\mu\text{m}$)峰度低、分布平缓,北半球西风环流的信息在这一组分中有所体现。

由图4可见,黄山黄土、古土壤的粒度频率曲线几乎全为双峰态分布,个别层位出现3个峰值,与典型风成黄土有良好的对应关系。从粒度分布范围及粒度组成上看,主峰集中在 $4\varphi\sim5\varphi$ 之间(风沙基本粒组),峰态高而窄,显示出较为集中的地质营力特征;次峰出现在 $7\varphi\sim8\varphi$ 之间(挟持粒组),低而缓,这种典型的粒度双峰态分布特征与孙东怀等(2000)的研究结果相符,属于典型风成黄土的粒度频率变化曲线,亦有力证明了黄山黄土风成成因的特点。但值得注意的是,图4中哈尔滨现代沙尘沉降物粒度频率曲线虽也呈双峰态或多峰态分布,但其主峰特别突出的特征表明哈尔滨现代风尘与历史时期黄土在物源和地质营力上有所差别。

3.5 粒度象特征及对成因的指示

粒度象通过反映沉积物粒度分布的整体特征,被广泛作为指示沉积物沉积环境的替代指标。综合本文C-M,L-M,A-M图(图5),并与风成“巫山黄土”及河流相沉积物粒度象图(李长安等,2010)比较得出,黄山黄土样品粒度象投影区域与风成黄土投影区域几乎重叠,与河流相样品投影区域有着较明显的差异,显示出相异于河流成因的风成成因特征。

3.6 粒度参数散点图特征及对成因的指示

沉积物的粒度参数散点投影区域与其沉积环境及成因有很好的反映关系,但只有对各种粒度参数进行综合分析才可以得出有意义的成因判别结果。由图6可见,黄山黄土的粒度参数散点投影区域与

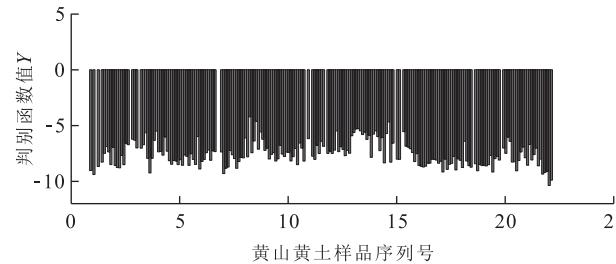


图 7 哈尔滨黄山黄土判别函数值

Fig.7 Y value of grain size distribution of Huangshan Loess

现代河流沉积物的投影区域有很大的差别,与风成黄土的投影区域相一致(李长安等,2010),具有较显著的风成成因特征。

3.7 判别式特征及对成因的指示

判别式(鹿化煜和安芷生,1999)已被广泛应用于判别沉积物的沉积环境及其成因,本文黄山黄土判别值通过公式 $Y = -3.5688 Mz + 3.7016 \sigma^2 - 2.0766 SK + 3.1135 KG$ 计算而得。通过图7及与前人研究成果对比可见,黄山黄土的判别值Y几乎全部为负值(部分缺失),与风成黄土的判别值Y特征(Y为负值)一致,而与水成沉积物(Y是正值)相异,进一步指示出了其风成成因特征。

4 结论

(1)从粒度组成、粒度频率曲线及岩性三角图来看,黄山黄土绝大多数以双峰态分布为主,第1组分(主众数粒组)以粗粉砂($10\sim50\mu\text{m}$)颗粒为主(含量为43.86%),第2组分(次众数粒组)为黏粒组($<5\mu\text{m}$)(含量为23.4%),属于黏土质粉砂,与风成黄土的粒度组成和粒度频率曲线基本一致。

(2)从粒度参数来看,黄山黄土粒径平均值为 6.25φ ,与典型风成黄土基本一致;大部分样品属于

正偏($SK=0.21$)窄峰($KG=0.86$)态, Kd 平均值为 2.01,较好地显示出风积成因的特点.

(3) 黄山黄土的粒度象及粒度参数散点投影区与风成黄土的投影区基本一致,但与河流沉积物的投影区相差明显,很好地指示出其风成成因特征.

(4) 黄山黄土判别值($Y<0$)几乎全部为负数,与水成沉积物判别函数值($Y>0$)的特征差异明显,进一步证实了其风积成因特征.

综上所述,黄山黄土与风成沉积物的粒度特征基本一致,符合风成沉积物的粒度特点,与河流相沉积物差异明显,故判其为风成沉积.

References

- Pavlin Andrianof, B.H., Yu, P.L., Shi, S.M., et al., 1956. Genesis of Loess in China. *Chinese Science Bulletin*, 11(1): 1–15 (in Chinese).
- Cai, M.T., Wei, M.J., 2009. Climate Change during the Penultimate Interglacial in Luochuan Area. *Journal of Desert Research*, 29(3): 536–543 (in Chinese with English abstract).
- Cao, Z., Zhu, X.D., 2014. Research on the Formation Reason of Loess in Middle and Eastern Place in Northeast China. *Journal of Changchun Normal University: Natural Science*, (2): 85–89 (in Chinese with English abstract). doi:10.3969/j.issn.1008-178X.2014.02.024
- Chu, B.J., Gao, Z.C., Yang, S.S., et al., 1988. Quaternary Magnetostratigraphic Classification of the Song-Nen Plain (Songhua Jiang River–Nenjiang River Plain). *Marine Geology & Quaternary Geology*, 8(4): 91–96 (in Chinese with English abstract).
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River Bar: A Study in the Signification of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3–27.
- He, K., Kuang, C.G., Zhang, L.J., 2008. Relation between Riverbed Alluvial Deposits in the Harbin Reach of the Songhua Jiang River and Sand-Dust Weather. *Geology in China*, 35(1): 150–156 (in Chinese with English abstract). doi:10.3969/j.issn.1000-3657.2008.01.016
- He, K., Xie, Y.Y., Kang, C.G., et al., 2009. Grain-Size Distributions of Harbin Fallouts and Its Source Areas. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(11): 200–205 (in Chinese with English abstract).
- He, K., Xie, Y.Y., Zhang, L.J., et al., 2005. Grain Size Characteristic of Sand-Dust Sedimentary in Harbin City and Its Implication. *Scientia Geographica Sinica*, 25(5): 597–600 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1000-0690.2005.05.014
- Hu, B.R., Lu, Y.C., 1989. The "Silt to Clay" Ratio, Kd , and the Grain-Size Cycles of a Loess Section at Luochuan, Shanxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 5(1): 12–20 (in Chinese with English abstract).
- Kang, C.G., Li, C.A., Xie, Y.Y., et al., 2011. Heavy Mineral Characteristics of Eolian Loess Deposits in Harbin Area and Its Provenance Implications. *Journal of Natural Disasters*, 20(4): 43–51 (in Chinese with English abstract).
- Li, C.A., Zhang, Y.F., Yuan, S.Y., et al., 2010. Grain Size Characteristics and Origin of the "Wushan Loess" at Wushan Area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(5): 879–884 (in Chinese with English abstract). doi:10.3799/dqkx.2010.102
- Li, C.Y., Wang, Z.T., Lin, S.Z., et al., 2004. The Relationship between East Asian Summer Monsoon Activity and Northward Jump of the Upper Westerly Jet Location. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 28(5): 641–658 (in Chinese with English abstract).
- Li, L., 2009. Paleo-Environmental Information Study of Sea Shore Loess in Dalian (Dissertation). Liaoning Normal University, Liaoning, 1–51 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.M., 2001. Sedimentary Characteristics of Seashore Loess in South Liaoning. *Marine Sciences*, 25(1): 32–35 (in Chinese with English abstract). doi:10.3969/j.issn.1000-3096.2001.01.012
- Li, X.S., Yang, D.Y., Lu, H.Y., 2001. Grain-Size Features and Genesis of the Xiashu Loess in Zhenjiang. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(1): 25–32 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D.S., An, Z.S., Zheng, H.H., 1985. Loess and Environment. Science Press, Beijing, 191–379 (in Chinese).
- Liu, D.S., Ding, Z.L., Guo, Z.T., et al., 1991. Loess, and Arid Environment. Anhui Science and Technology Publishing House, Anhui, 34–278 (in Chinese).
- Liu, Q.H., Jia, L., 2010. Analysis of Loess Sedimentary Characteristics in Dalian Coastal Qidingshan. *Journal of Liaoning Teachers College*, 2: 50–51, 89 (in Chinese).
- Liu, X.M., Liu, D.S., Xia, D.S., et al., 2007b. Analysis on Two Models of Paleoclimatic Records of Magnetic Susceptibility under Redox Conditions of Siberia and Chinese Loess. *Science in China (Series D)*, 37(10): 1382–1391 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X.M., Xia, D.S., Liu, D.S., et al., 2007a. Discussion on Two Models of Paleoclimatic Records of Magnetic Susceptibility of Alaskan and Chinese Loess. *Quaternary Sciences*, 27(2): 210–220 (in Chinese with English abstract).
- Link, A.G., 1966. Textural Classification of Sediments. *Sedimentology*, 7(3): 249–254.
- Lu, H.Y., An, Z.S., 1998. Paleoclimatic Significance of Grain

- Size of Loess-Palaeosol Deposit in Chinese Loess Plateau.*Science in China (Series D)*, 41(6): 626—631.doi: 10.1007/bf02878745
- Lu, H. Y., An, Z. S., 1999. Comparison of grain-size distribution of Red Clay and Loess-paleosol deposits in Chinese Loess Plateau.*Acta Sedimentological Sinica*, 21: 61—67 (in Chinese with English abstract).
- Lü, J. F., Li, Z. M., 1990. Loess and its Sedimentary Environment in Liaodong Peninsula. *Scientia Geographica Sinica*, 10 (2): 97—106, 191 (in Chinese with English abstract).
- Pye, K., 1987. Aeolian Dust and Dust Deposits. Academic Press, Pittsburgh, 127—238.
- Ren, J. Z., Quan, H., Ding, Z. L., et al., 1997. An Example of the Second Last Glacial Period of Rapid Climate Change: Climate Instability Record in Huining Loess. *Chinese Science Bulletin*, 42(17): 1836—1839 (in Chinese).
- Ren, S. F., Zheng, X. M., Ai, D. S., et al., 2014. Influence of Pre-treatment Methods on Grain-Size Distribution Pattern of the Xiashu Loess. *Marine Geology and Quaternary Geology*, (3): 185—194 (in Chinese with English abstract).
- Shepard, F. P., 1954. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal of Sedimentary Research*, 24: 151—158.
- Sun, D. H., Lu, H. Y., 2007. Grain-Size and Dust Accumulation Rate of Late Cenozoic Aeolian Deposits and the Inferred Atmospheric Circulation Evolutions. *Quaternary Sciences*, 27(2): 251—262 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. H., Lu, H. Y., David R., et al., 2000. Bimode Grain-Size Distribution of Chinese Loess and Its Paleoclimate Implication. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(3): 327—335 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. H., Shaw, J., An, Z. S., et al., 1998. Magnetostratigraphy and Paleoceanographic Interpretation of a Continuous 7.2 Ma Late Cenozoic Eolian Sediments from the Chinese Loess Plateau. *Geophysical Research Letters*, 25 (1): 85—88.doi: 10.1029/97GL03353
- Sun, J. Z., 2005. Loessology. Hong Kong Archaeological Society Press, Hong Kong, 354—362 (in Chinese).
- Sun, J. Z., Wang, Y., Z., Zhang, Q., Y., 1982. Various Geochronology of Quaternary Stratigraphy in Songliao Plain. *Journal of Xi'an Institute of Geology*, (2): 79—91, 10 (in Chinese).
- Wan, B., Zhong, Y. Z., 1997. Features Analysis and Divisions of New Tectonic Movement in Northeast China. *Seismological Research of Northeast China*, (4): 64—75 (in Chinese).
- Wang, D. P., Wang, X. K., Jiang, Y. B., 2010. Reconstruction of the Paleo-Environment in Changchun Area, Northeast China during the Late Mid-Pleistocene: Evidences from Sedimentary Geochemistry and Palynology. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 40(5): 1066—1074 (in Chinese with English abstract).doi: 10.3969/j.issn.1671—5888.2010.05.013
- Wang, J. L., 1993. Study on the Harbin Section of Songhua River terrace. *Scientia Geographica Sinica*, 13(1): 87—90 (in Chinese).
- Wei, Q., 1979. The Stratigraphy and the Age of the Huangshan in Harbin. *Acta Stratigraphica Sinica*, 3: 208—213 (in Chinese).
- Wu, X. H., Pu, Q. Y., Qian, F., et al., 1984. Preliminary Study on the Quaternary Magnetostratigraphy of the Songliao Plain in North-East China. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 4(2): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Xia, Y. M., Wang, P. F., Wang, M. H., 1983. Preliminary Research on Spore-Pollen Association of the Section of Huang Shan in Haerbin. *Scientia Geographica Sinica*, 3 (2): 183—187, 192 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. Y., He, K., Kang, C. G., 2005. Grain-Size Distribution of Fall-Outs of an Exceedingly Large Dust Storm in Harbin City and Its Implications. *Geology in China*, 32 (3): 502—506 (in Chinese with English abstract).doi: 10.3969/j.issn.1000—3657.2005.03.021
- Yi, S. W., Lu, H. Y., Zhou, Y. L., et al., 2013. Rb/Sr Geochemistry of Loess Deposits in the Horqin Dunefield, Northeastern China, and Its Implications for Climate Change during Late Quaternary. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 33 (2): 129—136 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, L., Lu, H. Y., Yi, S. W., et al., 2011. Magnetostratigraphy of Loess in Northeastern China and Paleoclimatic Changes. *Chinese Science Bulletin*, 56(27): 2267—2275 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W., Guo, S. L., Li, Y. H., et al., 2010. Grain-Size Fractal Dimension of Loess and Its Environmental Significance in the Peninsula of East Liaoning. *Progress in Geography*, 29 (1): 79—86 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W., Li, Y. Y., Li, L., 2008. Study on Loess Granularity and Sedimentary Environment at Qidingshan in Dalian. *Resources & Industries*, 10(3): 75—80 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, X. M., Liu, F., 2006. Review of Research on Loess in the Yangtze River Delta and the East China Sea Islands. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, (6): 9—24 (in Chinese with English abstract).doi: 10.3969/j.issn.1000—5641.2006.06.002
- Zhu, R. X., Kazansky, A., Matasova, G., et al., 2000. The magnetic properties of the loess deposits in southern Siberia. *Chinese Science Bulletin*, 45(11): 1200—1205 (in Chinese).

附中文参考文献

- 帕夫林诺夫, B. H., 于丕休, 石世民, 等, 1956. 关于中国黄土的成因问题. 科学通报, 1(11): 1—15.
- 蔡茂堂, 魏明建, 2009. 洛川地区倒数第二次间冰期气候变化研究. 中国沙漠, 29(3): 536—543.
- 曹振, 朱晓东, 2014. 东北地区中、东部黄土成因初步研究. 长春师范学院学报: 自然科学版, (2): 85—89.
- 曾琳, 鹿化煜, 弋双文, 等, 2011. 我国东北地区黄土堆积的磁性地层年代与古气候变化. 科学通报, 56(27): 2267—2275.
- 初本君, 高振操, 杨世生, 等, 1988. 松嫩平原第四纪磁性地层的初步划分. 海洋地质与第四纪地质, 8(4): 91—96.
- 何葵, 康春国, 张丽娟, 2008. 松花江哈尔滨段河床冲积物与沙尘天气关系的讨论. 中国地质, 35(1): 150—156.
- 何葵, 谢远云, 康春国, 等, 2009. 哈尔滨沙尘沉降物的粒度组成及其源地分析. 中国农学通报, 25(11): 200—205.
- 何葵, 谢远云, 张丽娟, 等, 2005. 哈尔滨 2002 年 3 月 20 日沙尘暴沉降物的粒度特征及其意义. 地理科学, 25(5): 597—600.
- 胡碧茹, 卢演伟, 1989. 洛川黄土剖面的粉砂与粘粒比值及粒度旋回. 岩石学报, 5(1): 12—20.
- 康春国, 李长安, 谢远云, 等, 2011. 哈尔滨地区风尘黄土重矿物特征及物源分析. 自然灾害学报, 20(4): 43—51.
- 李崇银, 王作台, 林士哲, 等, 2004. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究. 大气科学, 28(5): 641—658.
- 李丽, 2009. 大连地区滨海黄土古环境信息研究(硕士学位论文). 辽宁: 辽宁师范大学, 1—51.
- 李徐生, 杨达源, 鹿化煜, 2001. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探. 海洋地质与第四纪地质, 21(1): 25—32.
- 李雪铭, 2001. 辽东半岛南部地区滨海黄土的沉积特征. 海洋科学, 25(1): 32—35.
- 李长安, 张玉芬, 袁胜元, 等, 2010. "巫山黄土" 粒度特征及其对成因的指示. 地球科学——中国地质大学学报, 35(5): 879—884.
- 刘东生, 安芷生, 郑洪汉, 1985. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 191—379.
- 刘东生, 丁仲礼, 郭正堂, 等, 1991. 黄土与干旱环境. 安徽: 安徽科学出版社, 34—278.
- 刘庆宏, 贾亮, 2010. 大连滨海七顶山黄土沉积学特点分析. 辽宁师专学报: 自然科学版, (2): 50—51, 89.
- 刘秀铭, 刘东生, 夏敦胜, 等, 2007b. 中国与西伯利亚黄土磁化率古气候记录——氧化和还原条件下的两种成土模式分析. 中国科学(D辑), 37(10): 1382—1391.
- 刘秀铭, 夏敦胜, 刘东生, 等, 2007a. 中国黄土和阿拉斯加黄土磁化率气候记录的两种模式探讨. 第四纪研究, 27(2): 210—220.
- 鹿化煜, 安芷生, 1999. 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. 沉积学报, 17(2): 61—67.
- 吕金福, 李志民, 1990. 辽东半岛的黄土及其沉积环境. 地理科学, 10(2): 97—106, 191.
- 任剑璋, 全浩, 丁仲礼, 等, 1997. 倒数第二次冰期气候快速变化的一个例证: 会宁黄土的气候不稳定性记录. 科学通报, 42(17): 1836—1839.
- 任少芳, 郑祥民, 艾东升, 等, 2014. 不同前处理方法对下蜀黄土粒度测量的影响. 海洋地质与第四纪地质, (3): 185—194.
- 孙东怀, 鹿化煜, 2007. 晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方大气环流演变. 第四纪研究, 27(2): 251—262.
- 孙东怀, 鹿化煜, David R., 等, 2000. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义. 沉积学报, 18(3): 327—335.
- 孙建中, 2005. 黄土学. 香港: 香港考古学会出版社, 354—362.
- 孙建中, 王雨灼, 张庆云, 1982. 松辽平原第四纪地层的划分——几种年代学方法的应用. 长安大学学报: 地球科学版, (2): 79—91, 10.
- 万波, 钟以章, 1997. 东北地区的新构造运动特征分析及新构造运动分区. 东北地震研究, (4): 64—75.
- 王丹萍, 王锡魁, 江裕标, 2010. 长春地区中更新世晚期古环境重建的沉积地球化学与孢粉学证据. 吉林大学学报: 地球科学版, 40(5): 1066—1074.
- 王璟璐, 1993. 松花江哈尔滨段阶地的研究. 地理科学, 13(1): 87—90.
- 卫奇, 1979. 哈尔滨黄山地层的时代. 地层学杂志, 3(3): 208—213.
- 吴锡浩, 浦庆余, 钱方, 等, 1984. 松辽平原第四纪磁性地层的初步研究. 海洋地质与第四纪地质, 4(2): 1—13.
- 夏玉梅, 汪佩芳, 王曼华, 1983. 哈尔滨黄山剖面孢粉组合的初步研究. 地理科学, 3(2): 183—187, 192.
- 谢远云, 何葵, 康春国, 2005. 哈尔滨市特大沙尘暴沉降物的粒度分布及意义. 中国地质, 32(3): 502—506.
- 弋双文, 鹿化煜, 周亚利, 等, 2013. 晚第四纪科尔沁黄土堆积的 Rb-Sr 地球化学特征及古气候变化. 海洋地质与第四纪地质, 33(2): 129—136.
- 张威, 郭善莉, 李永化, 等, 2010. 辽东半岛黄土粒度分维特征及其环境意义. 地理科学进展, 29(1): 79—86.
- 张威, 李云艳, 李丽, 2008. 大连市七顶山黄土粒度特征及其沉积环境. 资源与产业, 10(3): 75—80.
- 郑祥民, 刘飞, 2006. 长江三角洲与东海岛屿黄土研究综述. 华东师范大学学报: 自然科学版, (6): 9—24.
- 朱日祥, Kazansky, A., Matasova, G., 等, 2000. 西伯利亚南部黄土沉积物的磁学性质. 科学通报, 45(11): 1200—1205.