



胶莱盆地中部晚更新世大站组 黄土特征及其地质意义

王群,徐伟祥*,孙增兵,颜丙鹏,张龙,张德明

(山东省第四地质矿产勘查院,山东省地矿局海岸带地质环境保护重点实验室,山东 潍坊 261021)

摘要:胶莱盆地中部万家至蓝村一带全新世地层之下普遍发育大站组黄土层,然而以往工作对其关注和研究程度较低。为深入研究胶莱盆地中部黄土特征,笔者针对胶莱盆地綦戈庄剖面展开了一系列研究工作,包括地质剖面测量、光释光测年、孢粉分析以及全岩常量地球化学研究。结果显示,綦戈庄黄土剖面以粉砂为主,底部存在石英砾石,这反映出黄土具有风积、近源洪积的成因特征。光释光测年结果限定了黄土的沉积时限为 (89.3 ± 5.6) ka至 (33.8 ± 3.3) ka,其形成时代为更新世萨拉乌苏期。孢粉分析表明,剖面以草本花粉为主,少见松、藜、蒿等孢粉组合,偶见淡水藻类,这反映出胶莱盆地在更新世末期呈现荒漠干旱气候。全岩常量地球化学特征呈现 $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$,与典型区域黄土比对照,CIA显示该黄土处于初等化学风化阶段。同时,还探讨了黄土物源与古环境的意义,此项研究对整个胶莱盆地乃至山东黄土沉积研究具有重要参考价值。

关键词:大站组黄土;光释光测年;孢粉分析;胶莱盆地中部

中图分类号: P534.63

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2025.09.001

0 引言

山东省黄土研究主要集中于鲁中山前区和渤海湾滨海,如济南张夏^[1]、青州^[2]、淄博^[3]、莱州湾沿岸^[4]、蓬莱^[5]和庙岛群岛^[6]等地(图1),区域不整合面形成的层状地貌,在研究第四纪沉积环境和新构造运动发展规律中发挥着重要作用^[7]。山东黄土大致呈东西向带状分布,其堆积地貌涵盖山前倾斜平原、山麓边缘山间盆地以及滨海冲积平原。众多学者针对上述地区的黄土,围绕沉积特征、年代、孢粉、元素地球化学等指标展开了大量研究,以探讨黄土的成因、物源、年代及沉积环境,进而提出了末次冰期陆架荒漠化和风成近源成因等观点^[8-10]。胶莱盆地地处鲁中山地和胶东丘陵之间,是白垩纪断陷盆地,在第四纪也成为了黄土的堆积场所。然而,由于其覆盖于全新世地层之下,受关注度较低,相关研究

相对薄弱。以往的区调工作仅依据岩性特征和地层叠置关系,便将其划归大站组,却缺乏年代和生物地层依据。基于此,笔者在胶莱盆地中部覆盖区平度万家至即墨蓝村一带开展研究。通过系统的剖面测量、光释光测年、孢粉分析以及全岩常量地球化学分析等方法,对该区域的黄土进行了深入综合研究,并探讨了其化学风化及古气候环境等方面的地质意义。

1 研究区概况

研究区位于华北板块(I)—胶辽隆起区(II)—胶莱盆地(III)的大地构造位置,处于鲁东胶莱盆地腹地的剥蚀堆积平原。出露地层为白垩系和第四系(图2),地表基岩露头零星,绝大部分地区被全新世地层覆盖。区内白垩纪地层为一套陆相碎屑岩—火山岩沉积建造。受古地理制约与构造改造,地层发育不全,缺失古近纪和新近纪沉积。构造仅限于中生代以来的盖层构造,

收稿日期: 2025-02-28; **修订日期:** 2025-03-07; **编辑:** 曹丽丽

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160044-4); 山东省地矿局局控地质矿产勘查项目(KC202102); 山东省地质勘查项目(鲁勘字[2020]15号)

作者简介: 王群(1983—),男,山东寿光人,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查工作; E-mail: wnagqun2008@163.com

* **通信作者:** 徐伟祥(1982—),男,山东昌邑人,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查工作; E-mail: dzxwx@163.com

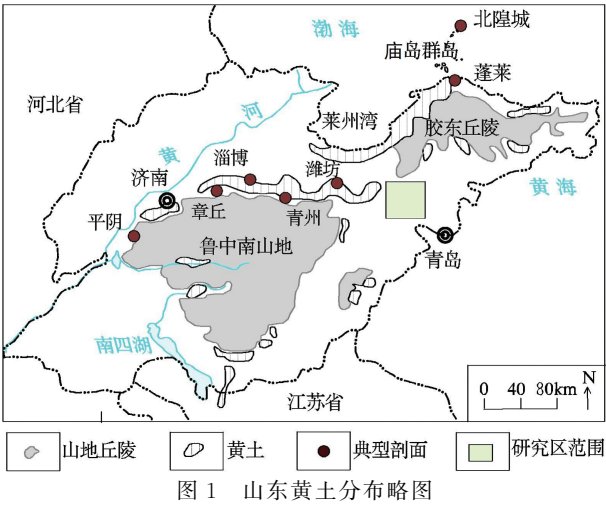


图 1 山东黄土分布略图

构造形迹以 NW 向断裂为主。区内岩浆岩不发育,岩浆事件表现为中生代火山喷发和 NW 向中基性脉岩侵入^[11]。地表全新世地层为河流相、湖泊相、海陆交互层沉积。全新世地层之下普遍发育一层黄色调的含钙质结核黏土层,厚度一般为 0.5~10 m。区内第四系厚度变化规律明显,剥蚀堆积平原分布于高密县城、胶北—马店—胶莱镇、七级—移风店镇、兰底镇等地,第四系厚度小于 5 m,基岩人工露头可见。其他区域为河湖积平原、冲积平原以及海积平原区。调查区内第四系厚度自东南向西北厚度增大。第四纪盆地于夏庄—姜庄一带及万家等地,第四系厚度大于 30 m。

2 岩石地层特征

研究区地表或为耕植土,或被全新世地层所覆盖。黄土为隐伏地层,以往区调将其归属为更新世大站组。研究黄土剖面位于平度市蓝底镇綦戈庄村西北开挖水塘,塘壁出露新鲜层面,自上而下依次划分为全新世黑土湖组、晚更新世大站组和白垩纪王氏群辛戈庄组(表 1)。大站组黄土总厚度 3.35 m,以显著的黄色调角度不整合王氏群辛戈庄组紫红色泥质粉砂岩之上。其与上覆全新世黑土湖组呈渐变过渡关系,该组厚度 1.00 m,岩性为灰黑色粉砂质黏土,代表了全新世早—中期湖沼相沉积。

2.1 剖面描述

綦戈庄剖面岩性以灰黄色黏土、粉砂质黏土为主,块状构造,结构均匀,底部常见砂砾质亚黏土。岩性特征同《山东省岩石地层》所述大站组定义“黄色、黄褐色粉砂、砂质黏土及砂砾石层,成因复杂,以风积为主”基本一致。研究区大站组黄土分布广泛,

在剥蚀堆积平原区,大站组厚度较小,多在 3 m 以内,向基岩浅覆盖区附近减薄至消失,在河湖积平原和冲积平原区,厚度较大,约 2~10 m,最厚可达 20 余米。李哥庄镇一带海积平原区因全新世海侵而缺失。大站组黄土微角度不整合于白垩纪陆相碎屑岩之上。其上被黑土湖组、临沂组所覆盖(图 3)。

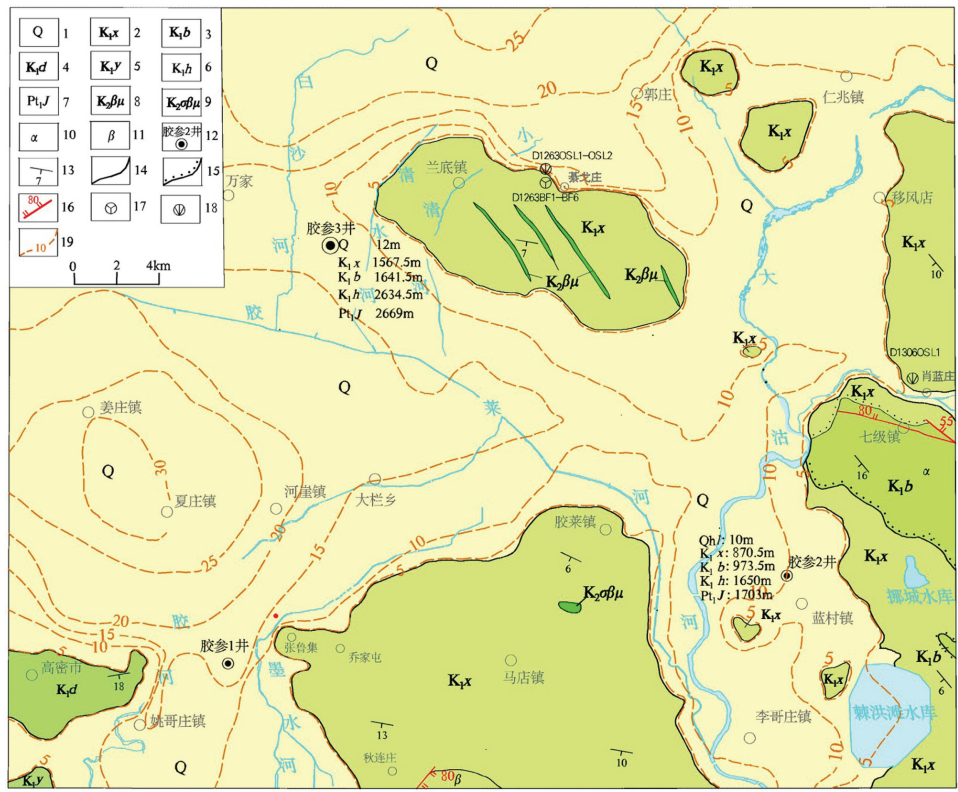
表 1 剖面地层划分及描述

地层名称	分层编号	厚度/m	地层特征描述
黑土湖组	6	1.00	灰黑色粉砂质黏土。 ¹⁴ C 同位素年龄(2320±30)a BP,与下覆大站组呈渐变过渡关系
	5	1.20	灰黄色含钙质结核黏土,钙质结核含量 10%,核径一般 5~10 mm,呈圆状。向上钙质结核含量趋少,核径趋小,约 2~3mm 左右。OSL 年龄(33.8±3.3)ka
大站组	4	0.25	灰白色含大量钙质结核黏土,钙质结核含量 30%~40%,多胶结呈层块状,大小 2~5 cm
	3	0.50	黄褐色黏土质粉砂,粒度小于 0.05 mm
	2	0.60	黄褐色含砂砾亚黏土,砂砾含量约 5%,大小以 2~5mm 为主,岩性以灰黄色石英为主。磨圆度高,呈次棱角状至次圆状
	1	0.80	黄褐、灰黄色砂砾质亚黏土。砂砾含量 15%~20%,黄褐色,磨圆度高,呈次棱角状—次圆状,成分以脉石英为主,大小 0.5~2 cm。含钙质结核,为后期淋滤所致。OSL 年龄(89.3±5.6)ka BP
	辛戈庄组		红色泥质粉砂岩夹灰白色中薄层状细砂岩

2.2 岩性组合及区域变化

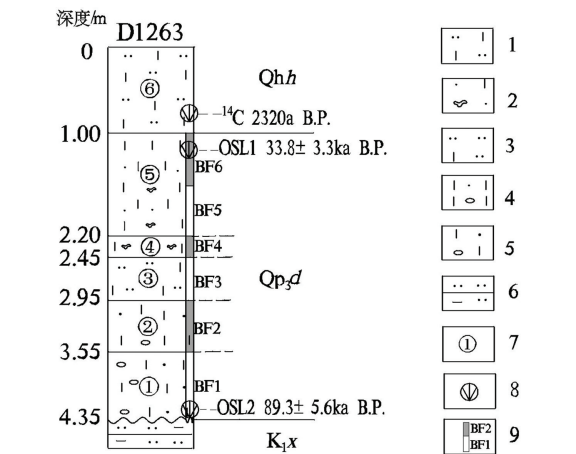
大站组黄土层内钙质结核非常发育,一般呈层状分布,厚度变化大,多见 1~2 层。钙质结核自上而下粒径由小逐渐变大,数量逐渐增多。钙质结核小至数毫米,最大可达 25~30 cm。钙质结核是黄土沉积后风化成壤过程中发生淋溶淀积结晶重新形成的次生碳酸盐^[12],是重要的气候代用指标,其含量能够指示古气候干冷—温湿程度。相比西北内陆马兰黄土,胶莱盆地黄土中钙质结核及结核层相对发育,指示了当时胶莱盆地气候半干旱—半湿润的气候条件。

山东黄土堆积自西部章丘至东部沿海蓬莱,均存在一期或多期明显的砾石层,砾石层成为研究古气候、古环境演化的重要依据^[13-14]。綦戈庄剖面底部层位含有石英砾石,呈黄褐色,大小 0.5~2.0 cm,呈次棱角状至次圆状,与下覆白垩纪王氏群辛戈庄组陆相红层呈侵蚀接触,砾石可能来源于



1—第四系;2—辛格庄组;3—八亩地组;4—杜村组;5—杨家庄组;6—后乔组;7—古元古代荆山群;8—晚白垩世辉绿岩脉;9—晚白垩世潜玄武岩;10—安山岩;11—玄武岩;12—收集钻孔编号及位置;13—地层产状;14—地质界线;15—角度不整合界线;16—张性断裂;17—孢粉取样位置;18—同位素取样位置;19—第四系等厚度线。

图 2 研究区地质简图



1—粉砂质黏土;2—含钙质结核砂质黏土;3—黏土质粉砂;4—含砂砾黏土;5—砂砾质亚黏土;6—泥质粉砂岩;7—分层编号;8—测年取样位置;9—孢粉取样位置及编号。

图 3 碁戈庄大站组黄土剖面图

近源胶北隆起滹沱系石英岩。剖面底部砾石磨圆良好,揭示了砾石经过盆地局限河流搬运堆积作用,难以风化,在碁戈庄剥蚀残丘边部得以保存。综上所述,碁戈庄剖面明显具有残积成分,接受了近源基岩

风化碎屑沉积,记录了地表地质地貌过程,对揭露胶莱盆地砾石层更新世古水系、古水文及古地貌的演化具有重要参考价值。

3 光释光测年

光释光测年是目前第四纪研究应用最普遍也是最被认可的测年技术之一,测年精度较高,测年范围可从几十年到十几万年^[15],目前,中国北方黄土的测年结果上限已拓展至 350 ka^[16]。为测试大站组黄土形成的年代,研究区采集了 3 件光释光样品,选取了大站组黄褐色调粉砂质黏土作为测年对象。样品采集选用长度为 40 cm,直径 10 cm 不透明钢管套取,避光采集,密封保存,维持样品原状,防止漏光和水分丢失,同时避免高温环境。碁戈庄剖面黄土厚度 3.35 m,分别在剖面顶部 0.05 m 和底部 3.30 m 处采取了 D1263OSL1 和 D1263OSL2 样品。另外在移风店肖蓝庄 D1306 点基岩之上大站组黄土底部采取了 D1306OSL1 作为大站组年龄下限的对比,光释光样品测试结果见表 2。

表 2 研究区光释光(OSL)年龄及参数

样品编号	位置	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	K/%	含水率 /%	环境剂量率 /(Gy/ka)	等效剂量 /Gy	光释光年龄 /ka
D1263OSL1	綦戈庄剖面 0.05 m 处	1.29	3.57	1.5	10 \pm 5	2.4 \pm 0.2	81.2 \pm 8.0	33.8 \pm 3.3
D1263OSL2	綦戈庄剖面 3.30 m 处	1.50	3.80	1.7	10 \pm 5	2.7 \pm 0.3	241.3 \pm 15.2	89.3 \pm 5.6
D1306OSL1	肖蓝庄剖面	1.29	3.57	1.6	15 \pm 5	2.4 \pm 0.2	230.6 \pm 19.2	95.8 \pm 8.0

样品的前处理和测试均在山东省地震工程研究院岩土力学及年代学实验室中完成。实验室内去除圆管两侧受光影响部分,采用中间避光部分进行测试。样品等效剂量测试是由丹麦 Risoe DA-20-C/D 型热/光释光自动测量系统完成。Daybreak 公司生产的 Daybreak2000 型释光测量仪测定样品的等效剂量。样品天然释光等效剂量测定采用粗颗粒石英矿物测试,光源选择蓝光激发。采用单片再生法获得样品的等效剂量^[17-18]。计算等效剂量时,选取前 1.6s(前 10 个通道积分值)的释光信号值,进行线性或指数拟合建立光释光信号的剂量响应曲线即光释光生长曲线,确定样品的等效剂量值。样品 U、Th、K 及其衰变子体对环境剂量率通过等离子体质谱仪及全谱直读等离子体发射光谱仪测量获得。光释光年龄通过测定石英矿物天然光释光信号强度所对应的电离辐射剂量即等效剂量和环境剂量率来获得。

假定实验室测定的样品 U、Th、K 含量及含水量可以代表样品埋藏期间的实际值,那么样品的光释光年龄代表了样品最后一次曝光距今的时间^[16,19-20]。经测试綦戈庄大站组底部层位(剖面 3.30 m)为光释光年龄(89.3 \pm 5.6)ka。与肖蓝庄大站组剖面底部层位光释光年龄(95.8 \pm 8.0)ka 相近,代表了胶莱盆地剥蚀残丘边缘黄土沉积下限。綦戈庄大站组顶部层位(剖面 0.05 m)光释光年龄为(33.8 \pm 3.3)ka,为黄土沉积上限年龄。综上所述,研究区剥蚀残丘边缘黄土沉积时代为萨拉乌苏期,能够代表研究区末次冰期以来的沉积。

4 孢粉学特征

采用孢粉分析对胶莱盆地晚更新世以来的地理环境特征进行研究,以便于对比我国东部第四纪以来环境演变。綦戈庄剖面孢粉样品共 6 件,自剖面底部自下而上连续采取。取样 50 g,经过泡酸、煮碱、氢氟酸处理脱去矿物质,后用浓盐酸进行氧化,最后过筛集中孢粉装管,由中国科学院南京地质古

生物所卢辉楠团队对孢粉分析鉴定。

孢粉中草本植物花粉含量约 64%,以莎草科 *Cyperaceae* 为主,禾本科 *Gramineae*、菊科(蒲公英型) *Taraxacum type*、蒿属 *Artemisia*、唇形科 *Labiatae* 个别出现;木本植物花粉含量约 5%,仅见少量落叶灌木麻黄属 *Ephedra* 和针叶类的松属 *Pinus*;蕨类植物孢子约 30%,见水龙骨科 *Polypodiaceae*、中华卷柏 *Selaginella sinensis*、膜蕨属 *Hymenophyllum* 和里白属 *Hicriopteris*。藻类约占 2%,见淡水相双星藻属 *Zygnema* 和环纹藻属 *Concentricystes*。

綦戈庄剖面孢粉以草本花粉为主,少见松、藜、蒿等孢粉组合,且含少量双星藻属 *Zygnema* 和环纹藻属 *Concentricystes* 淡水藻类,反映了更新世萨拉乌苏期寒冷干旱气候环境,形成的沉积环境大致为荒漠草原,不适宜植被生长。这种荒漠环境符合渤海东部更新世末期沉积环境^[21]。

5 全岩常量地球化学成分及特征

利用元素地球化学可以研究探讨古气候变化的历史^[22]。沉积物主要造岩元素 Si、Al、Fe、Ca 等以氧化物形成存在。根据氧化物表生地球化学性质,研究其百分含量在剖面中的变化规律,可以指示古环境^[23]。常量元素分析的基础是沉积物对母岩的主元素组合和重矿物组合的继承性。常量元素地球化学特征对物质来源及其气候环境演化具有指导意义。

虽然綦戈庄黄土剖面依据岩性组合划分了 5 层,抛除近源砾石和后期风化淋滤钙质结核的影响,故笔者对綦戈庄黄土剖面采集 1 件全岩常量元素样品,样品长 3.35m。样品测试由山东省第四地质矿产勘查院试验测试中心完成,样品自然风干研磨至 200 目(75 μ m)以下,称取 4.0g 样品加压研磨,由 Axios X 荧光光谱仪测出氧化物含量。测试主要元素数量见表 3,并与鲁中山区北麓地区和黄土高原部分样品进行了对比,来探讨黄土物源与气候环境演化的意义。

表 3 研究区和对比区黄土样品主量元素含量 单位: %

剖面位置	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	CIA
研究区	67.95	10.22	2.80	5.30	0.96	1.86	2.18	0.50	0.05	0.03	58.64
砣矶岛黄土 ^[24]	66.95	11.63	3.76	4.94	1.56	2.23	1.87	0.69	1.56	0.08	57.59
平阴黄土 ^[25]	69.28	11.94	4.00	7.76	1.44	2.68	2.27	—	—	—	53.67
洛川黄土 ^[26]	67.55	13.21	4.93	1.39	2.15	2.51	1.99	0.07	0.07	0.15	63.73
上陆壳 UCC ^[27]	66.00	15.20	5.00	4.20	2.20	3.40	3.90	0.5	0.06	0.50	47.92

样品常量元素氧化物组成含量 $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$ 。其中以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为最主要化学成分,含量总和为 86.27%,均大于 5%,而 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 含量均低于 1%。与上陆壳 UCC 相比, SiO_2 含量较为接近, TiO_2 含量持平, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 相对 UCC 亏损(图 4),表现出化学风化过程中碱金属容易淋溶迁移^[24]。研究区常量元素特征与中国典型风成沉积物相似,但仍然存在一定差异。 CaO 含量明显高于 UCC 及洛川黄土和青州黄土,比平阴黄土略低,这与样品中含有较多的碳酸盐矿物有关。碳酸盐岩矿物表明黄土堆积时期,降雨量丰富,碳酸盐矿物淋溶迁移,从而形成坚硬钙质结核。

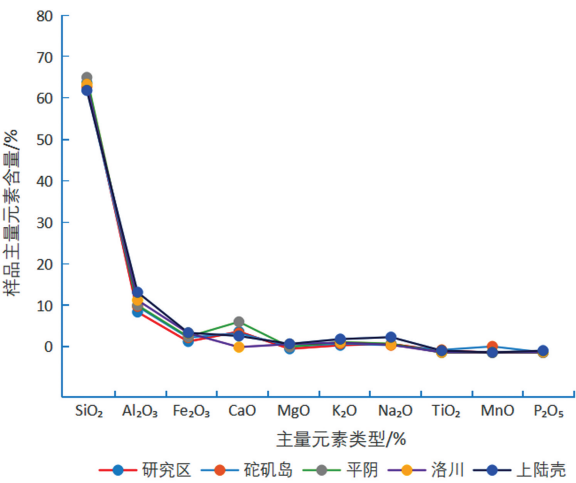


图 4 主量元素分布对比图

元素的绝对含量变化并不能完全真实地反映黄土沉积后及后期成壤过程中的元素地球化学转变。在风成黄土研究中,氧化物的比值能够较好地表现其化学组成的变化特征^[28]。化学蚀变指数(CIA)可以指示长石风化成黏土矿物的程度,反映的是硅酸盐(主要是长石矿物)的风化,不存在元素迁移后再沉积的情况,因此能很好地反映沉积物形成时的化学风化情况。它是衡量沉积物来源物质的风化作用和沉积后风化作用的代用指标^[29]。 $CIA = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3$

$+ \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$,公式中氧化物均为分子摩尔数, CaO^* 为硅酸盐相, CaO^* 的计算^[30]采用 Mclennan 的方法。根据 CIA 值的范围可以将风化强度划分为 4 个阶段,分别为未受化学风化阶段($CIA < 50$)、寒冷干燥气候条件下的初等化学风化阶段($50 < CIA < 65$)、温暖湿润气候条件下的中等化学风化阶段($65 < CIA < 85$)和炎热潮湿的强烈化学风化阶段($85 < CIA < 100$)^[31]。

研究表明,典型风成沉积物及上陆壳的 CIA 数值为:上陆壳 47.92/CIA 处于未受化学风化阶段;洛川黄土 63.73/CIA 处于寒冷干燥气候条件下的初等化学风化阶段;研究区綦戈庄黄土 58.64/CIA、平阴黄土 53.67/CIA 与砣矶岛黄土 57.59/CIA 均处于初等化学风化阶段。各黄土剖面 and UCC 经历的化学风化强度依次为上陆壳(UCC) < 平阴黄土 < 砣矶岛黄土 < 綦戈庄黄土 < 洛川黄土。而綦戈庄黄土、平阴黄土和砣矶岛黄土 CIA 显示了化学风化强度变化不大但依次增强,其粉尘物质与气候环境存在较高的相似性,基本上反映了山东黄土整体处于寒冷干燥气候条件。但与属于暖温带大陆性季风气候的洛川相比,显示化学风化强度比洛川黄土弱,可能是因为末次冰期时期渤海陆湾裸露地层和黄泛平原提供了较多近源物质的缘故。

6 黄土物源及古环境探讨

以往对黄土研究表明,中国黄土均来自其上风向邻近干旱区,具有近源性,反映了沙漠和黄土的空间邻近关系^[32]。刘东生^[28]曾对山东地区黄土总体性评述,指出末次冰期最强劲的西北气流携带大量粉尘物质最远可达到长江沿岸,这时的山东半岛和滨海部分地区,除接受大量从西北通过的大气系统以尘暴形式搬运来的粉尘外,还接受东部出露陆架吹向陆地的粉尘。张祖陆等^[10]认为,鲁中南山区,黄土物质来源以西北内陆风尘物质占主导,而渤海湾滨海和岛屿区,物质来源于末次冰期出露的渤海陆架物质,西北气流携带而来的内陆远源物质占次

要地位。林旭等^[33]认为胶东半岛北部海岸和山东中部山地北麓东段的晚更新世黄土主要来自渤海裸露的大陆架和华北平原的碎屑物质,受中国西北内陆干旱区的影响较小。虽然对于山东地区黄土主要来源认识不同,都表达了山东黄土是远源和近源物质共同作用的产物。

綦戈庄剖面地理位置位于渤海湾滨海以南,鲁中山区以东的胶莱盆地隐伏区。研究区胶莱盆地结束白垩纪盆地沉积之后,古近纪和新近纪一直处于剥蚀状态,直至更新世接受新的沉积,形成风成、洪积成因的黄土沉积。物质来源应该与渤海湾滨海和岛屿区一致,受西北内陆粉尘和渤海陆架沙漠粉尘的共同影响。綦戈庄剖面底部砂砾质亚黏土层和孢粉淡水相藻类均反映了黄土物源除了西北内陆粉尘、渤海陆架砂砾、粉尘外,还有周边洪积砾石和淡水藻类孢粉沉积。全新世以来全球渐暖,海平面上升,沿海山丘因位置相对较高,黄土得以保留,而胶莱盆地中部胶莱河、大沽河流主导了现代地貌格局,黄土沉积之上受微地貌影响形成不同的全新世沉积物。

7 结论

(1)胶莱盆地中部浅覆盖区隐伏黄土,属风成、洪积成因的黄土状土,属于末次冰期以来的一系列衍生沉积堆积。山东省岩石地层单位划归为大站组,即为区域上马兰黄土。綦戈庄剖面岩石地层特征为底部出现砂砾质黏土层和淋溶淀积的较多钙质结核区别于其他黄土。

(2)綦戈庄黄土光释光测年 (33.8 ± 3.3) ka 和 (89.3 ± 5.6) ka 限定了黄土沉积时限为晚更新世萨拉乌苏期。

(3)綦戈庄黄土孢粉以草本花粉为主,少见松、藜、蒿等孢粉组合,偶见淡水藻类,反映了胶莱盆地更新世末期荒漠干旱沉积环境。

(4)綦戈庄黄土以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主,常量元素含量呈现 $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO}$ 的变化规律。*CIA* 指数反映了处于寒冷干燥气候条件下的初等化学风化阶段。

(5)黄土物源除西北内陆粉尘、渤海陆湾砂砾、粉尘,还与周边洪积砾石、淡水藻类有关。研究区萨拉乌苏期普遍经历了黄土沉积。黄土沉积之上因微地貌形成不同全新世沉积物。

参考文献:

- [1] 张祖陆, 辛良杰, 姜鲁光, 等. 山东济南张夏黄土堆积及成因分析[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 98–106.
- [2] 彭淑贞, 高志东, 吴秀平, 等. 山东青州地区黄土的粒度组成及成因分析[J]. 地质力学学报, 2007, 13(4): 315–321.
- [3] 孔凡彪, 徐树建, 贾广菊. 山东淄博佛村黄土沉积多指标记录的气候环境演变过程[J]. 地球环境学报, 2017, 8(5): 407–418.
- [4] 张祖陆. 渤海莱州湾南岸平原黄土旱地貌及其古地理意义[J]. 地理学报, 1995, 50(5): 464–470.
- [5] 徐树建, 王涛. 蓬莱黄土剖面光释光年代学及其沉积特征研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 295–301.
- [6] 王箫风. 庙岛群岛黄土地层的磁学特征及环境信息研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [7] 徐华, 李秀章, 徐建国, 等. 山东蓬莱地区第四纪地貌地层与物理地层: 对低山丘陵区第四纪地层划分的启示[J]. 地球学报, 2025(2): 1–15.
- [8] 夏东兴, 刘振夏, 王揆洋, 等. 渤海东部更新世末期以来的沉积环境[J]. 海洋学报(中文版), 1995, 17(2): 86–92.
- [9] 于洪军. 中国东部陆架黄土成因的新探索[J]. 第四纪研究, 1999, 19(4): 366–372.
- [10] 张祖陆, 辛良杰, 聂晓红. 山东地区黄土研究综述[J]. 地理科学, 2004, 26(4): 746–752.
- [11] 徐伟祥. 胶莱盆地中部李党家-马山古凸起白垩纪岩石地层序列及岩相古地理[J]. 地质论评, 2021, 67(1): 27–38.
- [12] 苗甜, 金雅琪, 王磊, 等. 黄土碳酸盐古气候意义及其研究展望[J]. 盐湖研究, 2021, 29(4): 90–99.
- [13] 孔凡彪, 徐树建, 贾广菊. 山东黄土堆积中砾石层的研究进展[J]. 地层学杂志, 2019, 43(1): 81–88.
- [14] WANG M, KONG F B, KONG X L, et al. Sedimentary Characteristics, Ages, and Environmental Significance of Gravel Deposits and Loess in Shandong, Eastern China: Regional Response to Global Change Since the Last Glacial Period[J]. ACTA GEOLOGICA SINICA (English edition), 2024, 98(2): 491–504.
- [15] 徐树建, 李强, 付信花, 等. 胶莱盆地北部风尘堆积物光释光年代序列研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 48–52.
- [16] 苟思懿. 晚第四纪中国北方黄土沉积模式及西风-东亚夏季气候变化集成研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2023: 1–99.
- [17] MURRAY A S, WINTLER A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol[J]. Radiation measurements, 2000(32): 57–73.
- [18] LAI Z P, ZHANG W G, CHEN X, et al. OSL chronology of loess deposits in East China and its implications for Last Asian monsoon history[J]. Quaternary Geochronology, 2010(5): 154–158.
- [19] 王恒松, 黄春长, 周亚莉, 等. 渭河中游全新世黄土剖面光释光测年及记录的古洪水事件[J]. 地质学报, 2012, 86(6): 994–1004.
- [20] 王照波, 张剑, 王江月, 等. 山东蒙山地区第四纪冰川遗迹光释光测年及冰期划分与对比[J]. 地质论评, 2017, 63(3): 694–702.

[21] 夏东兴,刘振夏,王揆洋,等.渤海东部更新世末期以来的沉积环境[J].海洋学报(中文版),1995(2):86-92.

[22] 李徐生,杨达源,鹿化煜.皖南风尘堆积序列氧化物地球化学特征与古气候记录[J].海洋地质与第四纪地质,1999(4):75-82.

[23] 李长安,张玉芬,熊德强,等.“巫山黄土”常量元素地球化学特征[J].地球科学,2013,38(5):916-922.

[24] XU S J,KONG F B,JIA G J,et al. An integrated OSL chronology,sedimentology and geochemical approach to loess deposits from Tuoji Island, Shandong Province: Implications for the late quaternary paleoenvironment in East China[J]. Aeolian Research,2018(31):105-116.

[25] 徐树建,倪志超,丁新潮.山东平阴黄土剖面常量元素地球化学特征[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(2):353-359.

[26] 陈骏,季峻峰,仇纲,等.陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J].中国科学(D辑:地球科学),1997,27(6):531-536.

[27] TAYLOR S R,MCLENNAN S. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. London: UK: Oxford Blackwell,1985:321.

[28] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985:1-482.

[29] NESBIT H W,YOUNG G. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature,1982,299(5885):715-717.

[30] MCLENNAN S. Weathering and global denudation[J]. The Journal of Geology,1993,101(2):295-303.

[31] 李徐生,韩志勇,杨守业,等.镇江下蜀黄土剖面的化学风化强度与元素迁移特征[J].地理学报,2007,62(11):1174-1184.

[32] CHEN J, LI G J. Geochemical studies on the source region of Asian dust[J]. Science China Earth Science,2011(54):1279-13.

[33] 林旭,刘静,吴中海,等.中国北部陆架海碎屑锆石 U-Pb 年龄和钾长石主微量元素物源示踪研究[J].地质学报,2020,94(10):3024-3035.

Characteristics and Geological Significance of Late Pleistocene Dazhan Formation Loess in the Central Jiaolai Basin

WANG Qun,XU Weixiang,SUN Zengbing,YAN Bingpeng,ZHANG Long,ZHANG Deming
(No. 4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources,Key Laboratory of Coastal Zone Geological Environment Protection of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources,Shandong Weifang 261021, China)

Abstract: The loess layer of Dazhan formation is widely developed under Holocene strata in Wanjia to Lancun area in the middle of Jiaolai basin. However, in the past, the level of attention and research on it has been relatively low. In order to study the characteristics of loess in the middle of Jiaolai basin, a series of research work on Qigezhuang section of Jiaolai basin has been carried out, including geological profile measurement, photoluminescence dating, spore pollen analysis, and whole rock constant geochemical research. It is showed that the loess profile in Qigezhuang is mainly composed of silt, with quartz gravel at the bottom. It reflects the genetic characteristics of loess with aeolian and near source alluvial deposits. The results of photoluminescence dating limit the sedimentation time of loess is (89.3 ± 5.6) ka to (33.8 ± 3.3) ka, and its formation period is the Pleistocene Sarawus period. Spore analysis shows that the profile is mainly composed of herbaceous pollen, with rare pollen combinations, such as pine, quinoa and fern, and occasional freshwater algae. This reflects the arid desert climate of the Jiaolai Basin in the late Pleistocene. The geochemical characteristics of the whole rock show $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$. Comparing with typical regional loess, CIA shows that the loess is in the stage of primary chemical weathering. The significance of loess provenance and paleoenvironment has been studied. It will provide some references for the study of loess sedimentation in Jiaolai basin and even in Shandong province.

Key words: Loess in Dazhan group; photoluminescence dating; spore pollen analysis; central Jiaolai basin