

大连石河地区坡洪积物粒度特征与沉积环境分析

邵冰倩, 张威*, 施西悦, 王天依, 刘甲伟

辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2025年10月14日; 录用日期: 2025年11月23日; 发布日期: 2026年1月6日

摘要

坡洪积物作为坡积和洪积作用下的沉积类型, 是分析第四纪环境变化的良好载体。本文基于大连石河地区坡洪积剖面16个样品的粒度分析, 探讨其沉积环境, 结论如下: (1) 剖面除砾石外, 以粉砂为主, 均值为55.30%。第①~③黏土含量略高, 指示水动力减弱、气候略干。第④层粗颗粒富集, 含大砾石, 黏土含量最低, 反映环境湿润, 洪水突发、水动力强劲。第⑤~⑦层平均粒径变细, 粗砂含量升高, 属稳定低能环境叠加片流。第⑧层粗砂含量最高, 粉砂低且含砾石, 为季节性洪水期粗粒快速堆积产物。(2) 平均粒径(4.14~6.98 Φ)垂向波动显著, 水动力多变。分选系数均值5.36, 分选极差, 与野外观察的颗粒混杂、砾石磨圆度低且多呈棱角状、分选差的特征高度一致, 为典型近源快速堆积。偏度以正偏、近对称为主, 指示洪水粗颗粒沉积与后期细颗粒填充共存。第⑧层低峰态, 粗粒富集且分选差, 反映极端强降水事件。(3) 粒度波动指示气候变化控制沉积动力, 频率曲线多峰, 反映沉积动力充足且复杂, 为坡面重力、片流作用与区域突发性洪水沉积事件的叠加。

关键词

坡洪积物, 粒度组成, 粒度参数, 沉积环境, 水动力条件

Grain-Size Characteristics and Sedimentary Environment Analysis of Slope-Pluvial Deposits in Shihe Area, Dalian

Bingqian Shao, Wei Zhang*, Xiyue Shi, Tianyi Wang, Jiawei Liu

School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

Received: October 14, 2025; accepted: November 23, 2025; published: January 6, 2026

*通讯作者。

Abstract

Slope-pluvial deposits, as a transitional deposit resulting from the combined action of slope processes and fluvial processes, serve as an excellent indicator for analyzing Quaternary environmental changes. Based on a granulometric analysis of 16 samples from a slope-pluvial profile in the Shihe area of Dalian, this study investigates its depositional environment. The conclusions are as follows: (1) The profile is dominated by silt (mean: 55.30%), excluding gravel. Layers 1 - 3 exhibit slightly higher clay content, indicating weakened hydrodynamics and a slightly drier climate. Layer 4 is characterized by coarse-particle enrichment, including large gravels, and the lowest clay content, reflecting a wetter environment with sudden flooding events and strong hydrodynamics. Layers 5 - 7 show a finer average grain size yet elevated coarse sand content, interpreted as a stable, low-energy environment overprinted by sheetwash. Layer 8 contains the highest coarse sand content, low silt content, and includes gravels, representing rapid deposition of coarse material during seasonal flood events. (2) Mean grain size (4.14~6.98 Φ) shows significant vertical fluctuation, indicating highly variable hydrodynamics. The mean sorting coefficient (5.36) indicates extremely poor sorting, consistent with field observations of poorly sorted, angular to subangular gravels with low roundness-characteristic of typical proximal rapid deposition. Skewness is primarily positive to near-symmetrical, signifying the coexistence of flood-deposited coarse particles and later fine-particle infiltration. Layer 8 exhibits low kurtosis, coarse-particle enrichment, and poor sorting, reflecting an extreme high-precipitation event. (3) Grain-size fluctuations indicate sedimentary dynamics controlled by climatic changes. Multimodal frequency distribution curves reflect abundant and complex sediment transport dynamics, resulting from the superimposition of slope gravitational processes, sheetwash, and regional episodic flood deposition events.

Keywords

Slope-Pluvial Deposits, Grain-Size Composition, Grain-Size Parameters, Depositional Environment, Hydrodynamic Conditions

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

气候的频繁波动通过改变降水与地表径流的强度、沉积环境条件，显著影响沉积过程，导致沉积物类型多样，调控全球地貌格局[1] [2]。坡洪积物是坡面重力作用和暴雨径流共同作用下形成的典型沉积物，气候变化、地形条件及物质来源决定着其发育特征[3] [4]，是第四纪沉积体系的重要组成部分，不仅记录着气候变化、地表水文过程等环境信息[5]-[7]，还可以预防滑坡、洪水等自然灾害事件，在生态环境的维持及环境变化的科学的研究中具有不可替代的作用[8]，是揭示区域环境演变的关键载体。

国外对洪积物沉积学的研究可以追溯到 19 世纪，主要聚焦洪积物的形成、概念[9]、位置分布[10]-[12]、沉积特征及地貌识别等方面[13]。20 世纪中后期，国外研究者对洪积物进行更深入研究，在地貌提取、形态研究、形成因素及对环境变化的响应等方面取得一定成果[14]-[17]。国内平原、低山丘陵大量发育洪积物[18]，近年在野外识别[19] [20]、地貌提取[21] [22]、环境指示[23] [24]及气候灾害等方面具有很大进展。

相较于洪积物，坡积物、坡洪积物在地貌学上较少，一部分是在学者研究古洪水沉积序列时，作为

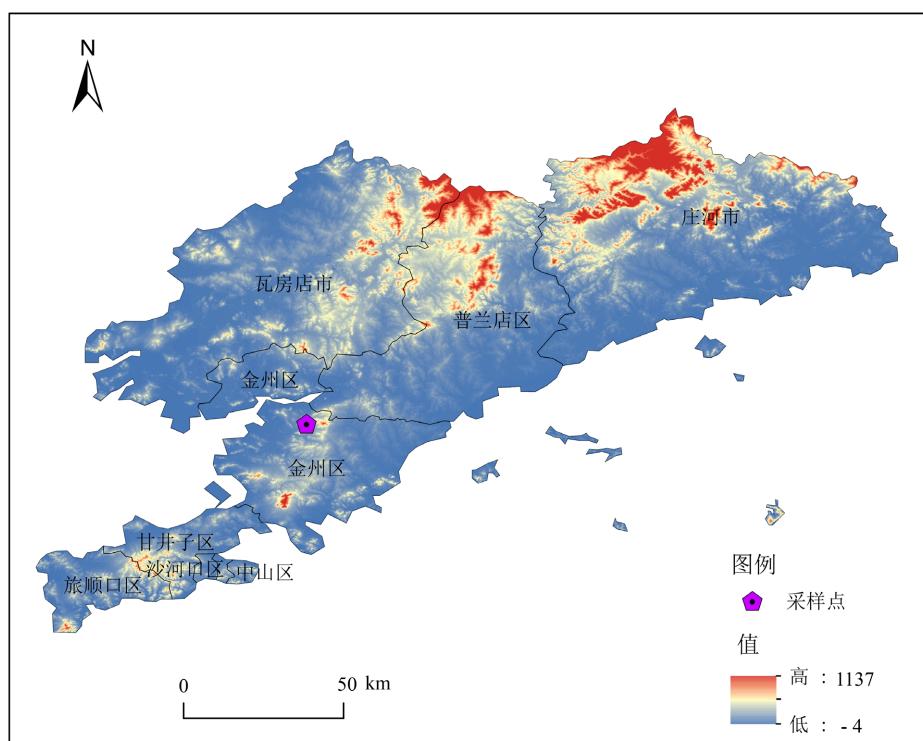
洪积物的伴生成分被分析，其独立性研究相对有限[25]。一部分则集中在区域调查、地层分布、沉积相及沉积特征描述上[26] [27]，坡洪积地貌的环境指标定量分析上研究相对薄弱。

粒度组成可以反映沉积物的搬运能力和沉积动力，是判别沉积环境和分析沉积过程的重要依据，测试简单、意义明确、对气候反映敏感，已被国内外广泛地应用到多种沉积环境的研究中[28]-[30]。辽南地区第四纪沉积物类型多样，前人对其研究多集中在区域地质调查，描述地层分布、沉积类型上，为本文剖面沉积类型的确定、沉积特征描述、沉积环境分析提供基础资料，为确定区域沉积环境变化提供坚实的基础[31]-[33]。大连石河地区位于小黑山山麓地带，保存着多层夹杂着坡洪积层。本文在前人对地层分布描述、沉积类型确定的基础上，进行沉积特征的定性描述及沉积粒度的定量分析，明确区域的沉积环境变化过程，揭示其对古气候、水动力条件、搬运距离等信息的响应，对理解辽南地区气候背景、第四纪坡洪积地貌演化及预防地质灾害具有重要意义。

2. 研究区概况

2.1. 研究区域概况

辽南以低山丘陵和河流冲积平原为主，整体地势西北高、东南低[34]，石河街道位于辽宁省南部，大连市北部，行政隶属大连市金州区($39^{\circ}20' \sim 39^{\circ}35'N$, $121^{\circ}40' \sim 122^{\circ}00'E$)，处于低山丘陵与沿海冲积平原的过渡带上(图 1)。研究区主要岩性为洪积相的黄褐色亚砂土与砂砾石，桥头岩组二岩段的石英岩、板岩互层，冲/坡洪积相的上部亚砂土夹砾石层。研究区周围岩性为甘井子组的白云岩、白云质灰岩，南关岭组的砾屑、砂屑灰岩、石灰岩，长岭子组的板岩、钙质板岩夹大理岩等。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2024) 0650 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Geographical location of the study area

图 1. 研究区地理位置

辽南地势北高南低，河流多发源于北部山区，多为放射性水系。石河剖面($39^{\circ}19'23''N, 121^{\circ}50'25''E$)位于连续起伏的低山丘陵的东侧坡麓地带，丘陵沟谷纵横，受气候的影响，夏季降水集中且多暴雨，洪涝灾害频发。剖面北部约1 km处，有一条发源于小黑山北麓名为“石河”的河流，总体自东南向西北流动，经普兰店湾入海，是金州区北部的重要河流。

2.2. 研究剖面

对石河剖面进行多次考察后，于2024年4月采集样品。剖面高5.3 m，整体呈红色褐，细粒层与砾石层交互存在。砾石大小混杂，直径约4~15 cm，大者可达1 m，磨圆度低，分选性差，基岩以石英岩为主，大理岩次之。本研究采用非等间距取样法，依据剖面沉积层序界面及粒度旋回特征，根据剖面砾石层和细粒层的堆积情况，将其自上而下分为⑧层，采集16个样品，标号为SH1至SH16，用于后续粒度分析(图2)，有利于识别沉积事件的边界与频率，确保样品能准确反映不同沉积阶段的粒度特征。

其中，第①层砾石与粗细颗粒混杂，磨圆度低、分选极差；第②层含粘土质粉砂，砂含量低且分选差；第③层砾石粒径减小，粗颗粒减少；第④层砾石大小混杂、叠瓦状排列，含直径可达1 m、低磨圆度的大方石，分选极差；第⑤层砾石粒径小，混粉砂透镜体，分选极差；第⑥层砂质粉砂为主，含次棱角状较粗的砾石，分选较差；第⑦层夹薄层粗砂，分选中等；第⑧层砾石少而粗砂增多，顶部覆盖0.1 m表土层。



Figure 2. Sedimentary characteristics of the Shihe section

图2. 石河剖面沉积特征图

3. 研究方法

本文根据粒度组分的百分含量，粒度频率分布曲线、粒度三角图、粒度参数特征及其地层组合方式等方面分析研究区坡洪积物的沉积粒度特征，解译其指示的环境意义。

样品测试仪器采用美国库尔特公司生产的贝克曼 LS13 320型激光衍射粒度测试仪，测试范围为0.04~2000 μm ，实验在辽宁省自然地理与空间信息科学重点实验室完成。为了保证结果可靠，每样品进行3次重复实验，取平均值。实验步骤如下：

- ① 筛选：将样品自然风干、碾碎，过2 mm筛。

- ② 称重：用精度为 0.1 mg 的电子秤称取 0.25~0.30 g 样品，置于 100 ml 小烧杯中，每个样品称取 3 次。
- ③ 去除有机质：将配比为 1:1 的 H₂O₂ 溶液(100 ml)加入烧杯中，静置 48 h，用加热板加热，直至烧杯中不再产生气泡。
- ④ 去除碳酸盐：在完成第二步的烧杯中加入 10 ml 配比为 1:3 的 HCl 溶液，放置 24 h，加热板加热至沸腾，直至无气泡产生。
- ⑤ 洗酸：冷却至常温之后，加入蒸馏水，放置 48 h，倒掉上层清液，重复进行直至溶液呈中性。
- ⑥ 加分散剂：在测试前烧杯中加入 10 ml 浓度为 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠并摇匀。
- ⑦ 测定：在贝克曼 LS13 320 型激光衍射粒度测试仪进行测试，各样品均采用超声波震荡 30 s，测试 3 次，取平均值。

4. 结果分析

4.1. 粒度组成分析

沉积物粒度分布可以直接反映其机械组分的含量和分布，是揭示古气候演化、沉积动力特征重要指标。由于水动力搬运条件的限制，石河坡洪积物呈现粗颗粒与细颗粒、砾石混杂堆积的特点，本文对筛选(细颗粒，<2 mm)后的样品进行粒度测试。根据 Udden-Wentworth 的粒度分级标准[35]，将沉积物粒径分为 6 个等级：黏土(<4 μm)，粉砂(4~63 μm)，极细砂(63~125 μm)，细砂(125~250 μm)，中砂(250~500 μm)，粗砂(>500 μm)。

除砾石外，剖面整体以粉砂为主，变化范围为 33.15%~66.09% 之间，均值为 55.30%。粘土变化范围为 8.13%~35.05%，均值 17.30%。极细砂变化范围为 3.78%~28.30%，均值 13.39%。细砂变化范围为 1.82%~21.44%，均值 8.00%。中砂变化范围为 0.00%~13.84%，均值 4.43%。粗砂变化范围 0.00%~6.51%，均值 1.57%。占比顺序为：粉砂 > 粘土 > 极细砂 > 细砂 > 中砂 > 粗砂(表 1)。

剖面粉砂、粘土含量整体呈现自下而上减小的趋势，极细砂、细砂含量整体呈自下而上增大的趋势，但是均具有波动性，在 3.5 m 处样品波动最为明显。中砂与粗砂百分比含量变化曲线相似，整体波动频繁，在剖面最顶层，中砂、粗砂含量最高。第①层粉砂含量较多、粗砂少量出现，砾石混杂。第②层黏土含量达到峰值，粗粒几乎缺失。第③层粘土含量有所降低，粉砂含量升高，砾石减少。第④层在 3.5 m 处极细砂与细砂含量突增，粘土含量最低，砾石巨大。第⑤层粉砂含量较高，粗砂少，存在少量砾石。第⑥层粉砂占比下降，极细砂与细砂占比增多。第⑦层粉砂含量又增加。第⑧层粗砂、中砂占比最高，粉砂含量较低，含砾石。

粒度三角图反映沉积物中砂、粉砂和粘土三者之间的比例关系及分布特征。根据三角图解法，石河剖面粉砂与砂含量较大，分别为 55.30%、27.39%，粘土的含量最低，为 17.30%(图 3)，剖面除砾石之外，粒度组成包括砂质粉砂、粘土质粉砂与粉砂质砂，且砂质粉砂含量最高，剖面自下而上整体变化趋势为粘土质粉砂 - 砂质粉砂 - 粉砂质砂，第④层沉积环境波动较大。

粒度频率曲线不仅可以直观粒度变化特征，还可以通过沉积物的分选性与峰值，分析沉积环境、水动力条件。第①层样品中的 SH3 与 SH8、SH9 的粒度频率曲线相似，但 SH8 第二个峰值波动比 SH3 大，指示他们沉积环境相似，但 SH8 样品比 SH3 样品沉积环境更为复杂，SH8 处发生了更强大的搬运作用，扰乱了原本 SH3 上部沉积物，并在第④层沉积。其余样品呈现不规则双峰、多峰形态，SH4 与 SH5、SH6 与 SH7 含量最高的峰值粒径数值一样，虽然峰值粒径占比有所差别，但可以说明 SH4 与 SH5、SH6 与 SH7 的沉积环境与动力、来源一致。SH10 三峰分布，SH11、SH12 峰值极不明显，指示水动力条件复杂且不稳定。SH13 近似无峰，与 SH14 频率曲线为双峰，峰值粒径接近，SH15、SH16 为多峰，说明顶层沉积物的沉积环境复杂。

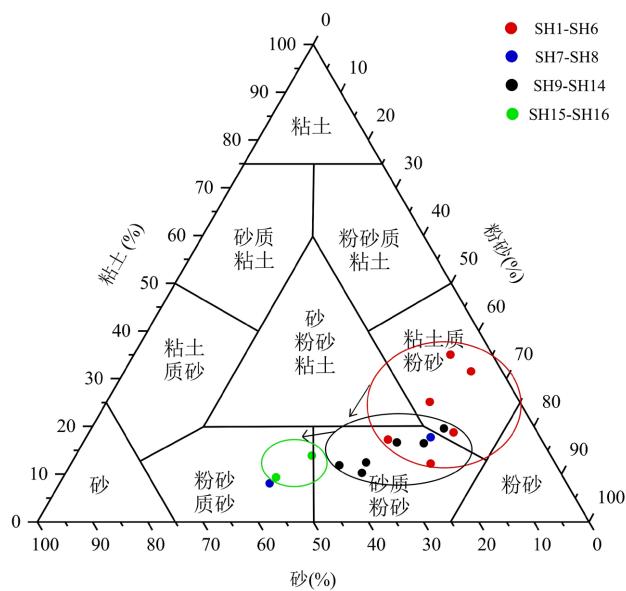


Figure 3. Grain size triangle diagram of the Shihe slope-pluvial deposit profile
图 3. 石河坡洪积物剖面粒度三角图

剖面样品粒度频率分布曲线多呈双峰、多峰的形态(图 4), 说明此剖面沉积环境复杂, 应为坡面重力、片流作用与暴雨径流事件的叠加, 水动力充足, 波动性强。

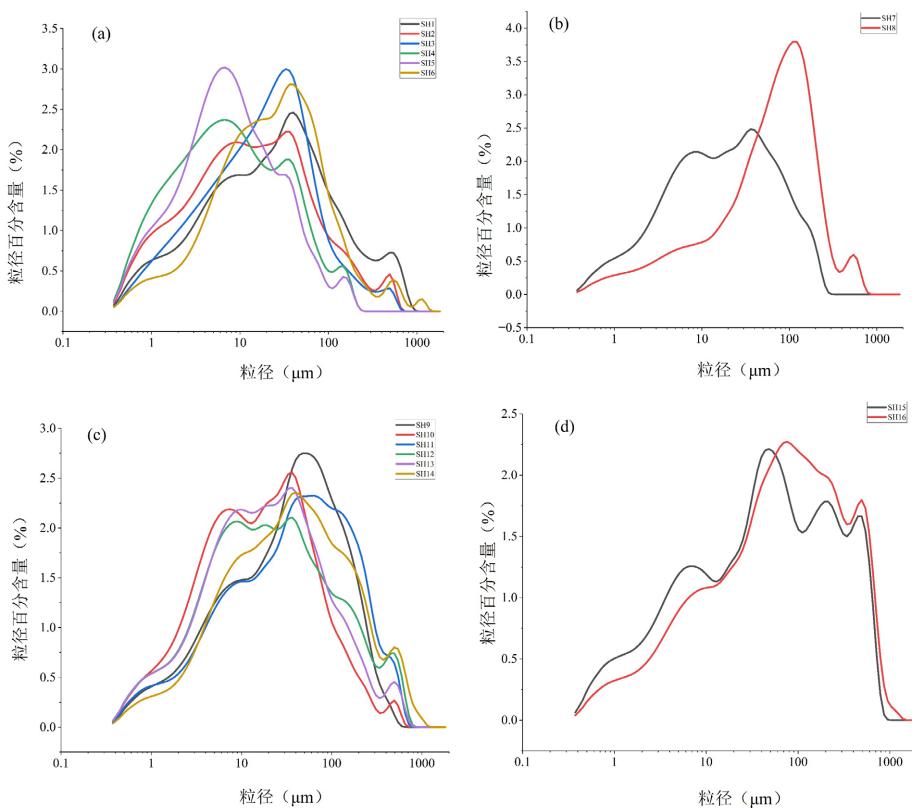


Figure 4. Grain size frequency distribution of slope-pluvial deposits in the Shihe River
图 4. 石河坡洪积物粒度频率分布图

4.2. 粒度参数特征分析

粒度参数是定量表述、分析沉积物粒度特征的常用方法，通常利用平均粒径(Mz)、分选系数(σ)、偏度(SK)、峰态(KG)这四个参数反应颗粒物质粒径的分布特征。本文采用 Folk 和 Wald 公式进行计算[36]。

平均粒径(Mz)指示样品所有粒径的平均值，反映整体颗粒的“粗细”程度，Mz 越大，颗粒越粗；反之越细。计算公式为：

$$Mz = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3} \quad (1)$$

分选系数(σ)表示粒径分布的离散程度， σ 越小，说明颗粒大小越均匀；反之，颗粒混杂，分选性差。计算公式为：

$$\sigma = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6.6} \quad (2)$$

式中， $\Phi 5$ 为累积频率曲线 5% 所对应的粒径值 Φ 、 $\Phi 16$ 、 $\Phi 25$ 、 $\Phi 50$ 、 $\Phi 84$ 、 $\Phi 95$ 为 16%、25%、50%、84% 和 95% 处所对应的粒径值 Φ 。

偏度(SK)指示粒径分布对称性的度量，分为正偏(数值 0.1~0.3)指示细颗粒后期充填、负偏(数值 -0.3~-0.1)，反映粗颗粒优势(如洪水沉积)、极负偏(数值 -1~-0.3)、近对称(数值 -0.1~0.1)、极正偏(数值 0.3~1)。计算公式如下：

$$SK = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2\Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2\Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 5)} \quad (3)$$

峰态(KG)表示粒径分布的集中趋势，高峰度(窄峰)表示粒径集中，低峰度(宽峰)表示粒径分散。计算公式为：

$$KG = \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{2.44(\Phi 75 - \Phi 25)} \quad (4)$$

研究区剖面平均粒径(Mz)最小值与最大值分别为 4.14 Φ 和 6.98 Φ ，分别位于第⑧层 3、第③层，均值为 5.50 Φ ，属于粉砂。剖面 Mz 数值具有波动性，呈现出大幅度上升 - 大幅度下降 - 上升 - 下降的趋势，说明整体粒径经历了变粗 - 变细 - 粗 - 细的阶段。分选系数(σ)变化范围为 3.81~7.02，均值为 5.36，数值较大，属“极差”等级，表明粗细颗粒混杂，该结论与野外观察的剖面粗细颗粒混杂、砾石磨圆度低且多呈次棱角状、分选性差的结论高度一致，共同指示沉积物质未经历长时间搬运、磨圆作用，呈现典型近源快速堆积特征。

剖面偏度(SK)的变化范围为 -0.03~0.38，均值 0.11，共有近对称、正偏、极正偏三个等级，占比分别为 56.2%、37.5%、6.3%。说明剖面搬运动力以坡面片流为主，在沟谷汇流、暴雨冲刷的作用下，粗颗粒堆积，洪水退却后悬浮物沉降，使剖面中含有大量细颗粒物质，既有坡积的影响，也有洪水后期细颗粒填充的影响。峰态值(KG)的变化范围为 0.86~1.18，均值为 0.96，第①~⑦层大部分属于中等峰度，表示粒径不集中，第⑧层属于低峰度，粒径分散。峰态(KG)分为三个等级：中等、宽、尖宽，占比依次为中等(81.3%) > 宽(12.5%) > 尖宽(6.2%) (表 1)。

5. 讨论

石河剖面记录的沉积环境变化是构造背景与气候演变共同作用的结果。辽南地区新近纪以来经历了显著的构造抬升，石河地区处于低山丘陵与沿海冲积平原的过渡带上低山丘陵向沿海冲积平原的过渡带

上, 这种地形为坡洪积物的发育提供了物源条件和动力基础。且辽南地区于新近纪发育的红色风化壳, 是高温高湿气候条件下的风化产物, 其上覆黄土则说明该区域经历了从热带或亚热带湿热气候向干寒气候的转变[37] http://wfo.lib.ustc.edu.cn/D/Periodical_yndlhyj201802009.aspx。这种气候转型过程对区域风化作用和沉积物特征产生了深远影响。

粒度参数进一步揭示了沉积环境对气候变化的响应。剖面平均粒径的垂向波动以及分选系数极差, 不仅指示了近源快速堆积的特点, 也反映水动力条件的频繁变化。偏度以正偏和近对称为主, 说明沉积过程中既有洪水粗颗粒沉积, 也有后期细颗粒填充, 这种特点与辽东半岛全新世气候波动导致的沉积动力变化相一致。频率曲线多峰形态则进一步证实了沉积动力的复杂性。剖面第④层观察到粗颗粒富集, 含大砾石, 黏土含量最低, 这反映了环境湿润、洪水突发、水动力强劲的沉积环境。这一层次很可能对应古气候极端降水事件, 强大的水动力条件导致了粗粒物质的快速搬运和堆积。因此, 大连石河地区坡洪积物记录的环境突变事件主要受构造-气候耦合作用控制。

Table 1. Grain size composition of the Shihe profile

表 1. 石河剖面粒度组成

层位	样品 编号	深度 /m	粘土 /%	粉砂 /%	极细砂 /%	细砂 /%	中砂 /%	粗砂 /%	平均 粒径	分选 系数	偏度	峰态
⑧	SH16	0.4	9.34	38.59	17.74	14.14	13.68	6.51	4.14	3.85	0.20	0.94
	SH15	0.9	13.91	42.79	13.96	12.02	12.75	4.57	4.63	4.39	0.16	0.86
⑦	SH14	1.1	10.31	53.65	15.63	10.91	6.50	3.00	4.87	4.80	0.06	0.95
	SH13	1.3	16.52	61.78	11.64	6.02	3.06	0.98	5.71	5.68	0.04	1.00
⑥	SH12	2	16.71	56.83	11.55	7.83	5.44	1.63	5.51	5.58	-0.02	0.97
	SH11	2.8	11.92	48.76	17.94	13.27	7.10	1.00	4.85	4.60	0.19	0.92
⑤	SH10	3	19.62	63.87	10.21	4.19	1.74	0.37	6.01	5.93	0.06	0.94
	SH9	3.2	12.51	53.33	19.39	11.16	3.55	0.06	5.08	4.76	0.23	0.93
④	SH8	3.5	8.13	38.05	28.31	19.21	4.65	1.65	4.25	3.81	0.38	1.18
	SH7	3.7	17.77	62.39	13.65	6.03	0.16	0.00	5.83	5.75	0.09	0.91
③	SH6	4	12.28	65.13	14.06	4.68	2.05	1.80	5.49	5.37	0.10	1.04
	SH5	4.3	31.54	62.86	3.78	1.82	0.00	0.00	6.98	7.02	-0.02	1.00
②	SH4	4.5	35.05	57.36	5.31	2.28	0.00	0.00	6.97	7.02	-0.03	0.87
	SH3	4.7	18.75	66.09	9.38	3.30	2.11	0.38	5.96	5.70	0.16	1.00
①	SH2	4.9	25.17	58.53	8.58	4.39	2.70	0.63	6.29	6.20	0.03	0.96
	SH1	5.3	17.29	54.87	13.17	6.72	5.34	2.61	5.44	5.27	0.08	1.01

6. 结论

本文选取大连石河地区坡洪积物沉积剖面, 对沉积物进行粒度实验, 分析不同地层沉积物的环境指标特征, 探讨指示的环境意义, 得出以下结论:

(1) 除砾石外, 剖面整体以粉砂为主, 为砂质粉砂沉积。剖面第①~③层粒径含量无明显上升下降趋势, 但粘土含量略高, 指示水动力从强到弱, 气候略干。第④层粒径变化异常, 粗颗粒富集, 黏土含量最低, 伴随巨型砾石, 指示当时沉积气候湿润, 水动力强劲。第⑤~⑦层整体粒径变细, 但粗砂含量升高, 指示其为稳定低能环境、间歇性强水流环境下的产物。第⑧层粗砂与中砂含量最高, 粉砂较低, 含砾石, 说明其在暴雨期, 粗粒快速堆积而成。

(2) 平均粒径介于 4.14~6.98 Φ 之间, 垂向波动显著, 粒径的粗细旋回, 沉积动力多变。分选系数范围为 3.81~7.02, 均值 5.36, 属“极差”等级, 表明颗粒混杂、物源复杂, 与野外观察的粗粒颗粒混杂、砾石磨圆度低且多呈次棱角状、分选差特征高度一致, 指示物质未经历长时间搬运磨圆作用, 为近源快速堆积。偏度范围处于-0.03~0.38 之间, 均值 0.11, 以近对称和正偏为主, 指示既有坡积影响, 又有洪水后期细颗粒填充作用。峰态介于 0.86~1.18 之间, 均值 0.96, 81.3% 样品属中等峰态, 只有第⑧层为低峰态, 粗颗粒富集、分选性低, 共同指示极端强降水事件。

(3) 石河坡洪积物粒度波动指示气候变化控制沉积动力, 粒度频率曲线呈双峰、多峰形态, 表明石河剖面坡洪积物水动力充足且沉积条件复杂, 是坡面重力、片流作用与突发性洪水沉积事件的叠加。

基金项目

辽宁省社会科学规划基金项目, 项目编号: L20AKG001。

参考文献

- [1] 姚檀栋. 末次冰期青藏高原的气候突变-古里雅冰芯与格陵兰 GRIP 冰芯对比研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1999, 29(2): 175-184.
- [2] 武登云, 任治坤, 吕红华, 等. 冲积扇形态与沉积特征及其动力学控制因素: 进展与展望[J]. 地球科学进展, 2020, 35(4): 389-403.
- [3] 蔡雄飞, 廖计华, 蔡海磊, 等. 第四系冲、洪积物的识别标志和研究意义[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(1): 10-12, 16.
- [4] 董李, 李艳红. 罗布泊风积物与冲洪积物磁性变化特征的对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(11): 111-116.
- [5] 杨劲松. 全新世以来黄河故道区古洪水事件重建及区域对比研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2023.
- [6] 许波, 田野, 王末, 等. 太子河冲洪积扇地下水水化学特征及成因分析[J]. 地质与资源, 2024, 33(5): 690-700.
- [7] 刘江涛, 蔡五田, 曹月婷, 等. 沁河冲洪积扇地下水水化学特征及成因分析[J]. 环境科学, 2018, 39(12): 5428-5439.
- [8] 霍强. 山地冲洪积层错落式滑坡机理探讨[J]. 能源与环境, 2023(5): 49-51.
- [9] Drew, F. (1873) Alluvial and Lacustrine Deposits and Glacial Records of the Upper-Indus Basin. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **29**, 441-471. <https://doi.org/10.1144/gsl.jgs.1873.029.01-02.39>
- [10] Bretz, J.H. (1923) The Channeled Scablands of the Columbia Plateau. *The Journal of Geology*, **31**, 617-649. <https://doi.org/10.1086/623053>
- [11] Bretz, J.H. (1928) The Channeled Scabland of Eastern Washington. *Geographical Review*, **18**, 446-477. <https://doi.org/10.2307/208027>
- [12] Bretz, J.H. (1929) Valley Deposits Immediately East of the Channeled Scabland of Washington. I. *The Journal of Geology*, **37**, 393-427. <https://doi.org/10.1086/623636>
- [13] Bull, W.B. (1964) Geomorphology of Segmented Alluvial Fans in Western Fresno County, California. US Government Printing Office.
- [14] Went, D.J. (2005) Pre-Vegetation Alluvial Fan Facies and Processes: An Example from the Cambro-Ordovician Rozel Conglomerate Formation, Jersey, Channel Islands. *Sedimentology*, **52**, 693-713. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2005.00716.x>
- [15] Lopez Steinmetz, R.L. and Galli, C.I. (2015) Cambio hidrológico asociado al Último Máximo Glacial-Altitermal durante la transición Pleistoceno-Holoceno en el borde oriental de Puna Norte. *Andean Geology*, **42**, 1-19. <https://doi.org/10.5027/andgeov42n1-a01>
- [16] Giles, P.T. (2010) Investigating the Use of Alluvial Fan Volume to Represent Fan Size in Morphometric Studies. *Geomorphology*, **121**, 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.05.001>
- [17] Harvey, A.M. (2005) Differential Effects of Base-Level, Tectonic Setting and Climatic Change on Quaternary Alluvial Fans in the Northern Great Basin, Nevada, USA. *Geological Society, London, Special Publications*, **251**, 117-131. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2005.251.01.09>
- [18] 地质矿产部地质辞典办公室. 地质大辞典[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

- [19] 黄春长, 庞奖励, 查小春, 等. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究: 以周原漆水河谷地为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(11): 1658-1669.
- [20] 杨劲松, 王永, 尹金辉, 等. 我国冲积平原区洪水事件重建研究进展及展望[J]. 地球科学, 2022, 47(11): 3944-3959.
- [21] 杨勇忠, 任俊杰, 李东臣. 基于 SAR 影像的干旱区冲/洪积扇地貌面定量分期研究——以河西走廊西部沙漠区的疏勒河洪积扇为例[J]. 地质力学学报, 2023, 29(6): 842-855.
- [22] 王姣姣. 基于数值模拟的祁连山北麓洪积扇发育演化及形态特征研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [23] 赵秋月, 方慤, 彭淑贞, 等. 倒数第二次间冰期以来黄河下游冲洪积物释光年代及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 2022, 42(5): 1277-1286.
- [24] 赵俊香. 恒山北麓晚第四纪地貌及相关沉积物光释光定年[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [25] 李晓刚. 黄河晋陕峡谷段与汉江上游白河段若干地点全新世古洪水研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2014.
- [26] 朱军昌. 兰州黄河北岸高级阶地坡洪积物($Q_2dl + pl$)载荷试验及其成果分析[J]. 甘肃科技, 2024, 40(9): 37-41.
- [27] 王艳清, 李森明, 田翔, 等. 柴达木盆地西部地区古-始新世残-坡积物的判别及意义[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1307-1313.
- [28] Ashley, G.M. (1978) Interpretation of Polymodal Sediments. *The Journal of Geology*, **86**, 411-421.
<https://doi.org/10.1086/649710>
- [29] 王心源, 吴立, 张广胜等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 548-553.
- [30] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红黏土与黄土古土壤粒度特征对比[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 226-232.
- [31] 赵岩. 辽宁阜新北部至内蒙古库伦旗地区第四系冲、洪积沉积特征[J]. 地质与资源, 2018, 27(5): 417-423.
- [32] 吕金福, 李志民. 辽东半岛的黄土及其沉积环境[J]. 地理科学, 1990, 10(2): 97-106+191.
- [33] 张雪花. 辽宁北部法库地区第四系地层特征[J]. 有色矿冶, 2022, 38(4): 8-11.
- [34] 郑应顺. 辽东半岛自然地理[M]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 1987: 1-36.
- [35] Wentworth, C.K. (1922) A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, **30**, 377-392.
<https://doi.org/10.1086/622910>
- [36] Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar [Texas]; a Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Research*, **27**, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74d70646-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- [37] 金书晨, 李永化, 魏东岚, 等. 辽南黄土覆盖的红色风化壳发育特征及区域对比[J]. 沉积学报, 2020, 38(5): 1006-1015.