引用格式:陈宏强,专少鹏,赵华平,等,2023.河北省唐山地区古滦河冲积扇第四纪以来演化与变迁[J].地质力学学报,29(1): 138-152. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2022023

Citation: CHEN H Q, ZHUAN S P, ZHAO H P, et al., 2023. Evolution and changes of the ancient Luanhe fluvial fan since the Quaternary in Tangshan, Hebei Province[J]. Journal of Geomechanics, 29 (1): 138–152. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2022023

河北省唐山地区古滦河冲积扇第四纪以来演化与变迁

陈宏强, 专少鹏, 赵华平, 杨 瑞, 陈 超, 段炳鑫, 李庆喆 CHEN Honggiang, ZHUAN Shaopeng, ZHAO Huaping, YANG Rui, CHEN Chao, DUAN Bingxin, LI Qingzhe

河北省区域地质调查院,河北廊坊065000

Regional Geological Survey Institute of Hebei Province, Langfang 065000, Hebei, China

Evolution and changes of the ancient Luanhe fluvial fan since the Quaternary in Tangshan, Hebei Province

Abstract: The study of the ancient Luanhe alluvial fan has focused more on the Holocene, and no systematic study has been conducted on its Pleistocene evolution and variation. We studied the magnetic stratigraphy, chronostratigraphy, sedimentology, logging sedimentology, and core color of the boreholes PZK10 and PZK20 in the ancient Luanshe alluvial fan. Based on that, we carried out a comprehensive study of the Quaternary three-dimensional geological structure, the scale of the alluvial fan body, and the migration pattern of the ancient Luanshe alluvial plain. The borehole PZK10 recorded Brunches, Matuvama, and Gauss polarity chrons; the boundaries between them are 77.42 m and 71.50 m, respectively. The borehole PZK10 also revealed a set of diluvial "mud-gravel" layers deposited in the Pliocene, with two alluvial fan-lake phase cycles in the Early Pleistocene, braided river deposits in the Middle Pleistocene, and lake, alluvial fan and braided river facies in the late Pleistocene. A set of highly thick "mud-gravel" layers was deposited in the Pliocene of the borehole PZK20. The early Pleistocene is the fan-front-plain-braided river facies deposition, the middle Pleistocene is the braided river-alluvial fan facies deposition, and the late Pleistocene is the braided river deposition. Early Pleistocene, the ancient Luanhe River out of the mountain formed a large-scale alluvial fan in Shaliuhe town, which is the first stage of the ancient Luanhe alluvial fan. In the middle of the early Pleistocene, the ancient Luanhe River diverged in the current Qiuzhuang reservoir, and the alluvial fan formed in the Fengrun area, namely the second stage alluvial fan. In the middle Pleistocene, the first alluvial fan began to shrink, while the second alluvial fan continued to develop, forming a vast thick gravel layer. Late Pleistocene, the ancient Luanhe river was captured north of Qianxi county. It flowed eastwards and migrated out of the research area into the Qian'an basin in Xixiakou village, forming the alluvial fan with Xixiakou village as its apex.

Keywords: Quaternary; ancient Luanhe alluvial fan; borehole; paleomagnetic; optically stimulated luminescence; logging curve

摘 要: 古滦河冲积扇研究的关注点更多在全新世,对其更新世的演化与变迁一直没有进行过系统研究。根据古滦河冲积扇上 PZK10、PZK20钻孔的磁性地层学、年代地层学、沉积学、测井沉积学、岩芯色度分析等,对古滦河冲积平原的第四纪三维地质结构、冲积扇体的规模以及迁移规律进行综合研究,结

第一作者:陈宏强(1991一),男,硕士,工程师,主要从事第四纪地质与区域地质研究。E-mail:1207815740@qq.com 收稿日期:2022-02-25;修回日期:2022-11-20;责任编辑:吴芳

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20160042);中国地质调查局基础调查项目(DD20160060);中国地质调查局综合研究项目(DD20179394);河北地矿局综合研究项目(201821)

This research is financially supported by the Geological Survey Program of the China Geological Survey (Grant No. DD20160042), the Fundamental Geology Survey Program of the China Geological Survey (Grant No. DD20160060), the Comprehensive Research Program of the China Geological Survey (Grant No. DD20179394), and the Comprehensive Research Program of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration (Grant No. 201821).

果表明: PZK10 孔揭露了上新世时沉积的巨厚洪积成因"泥包砾"地层,早更新世时发育两个冲积扇-湖 相旋回,中更新世时发育辫状河沉积,晚更新世发育湖相、冲积扇相、辫状河相沉积。PZK20 孔上新世 沉积了一套巨厚"泥包砾"层,早更新世为扇前平原-辫状河相沉积,中更新世为辫状河-冲积扇相沉积, 晚更新世为辫状河沉积。古滦河发育两期冲积扇,第一期为早更新世早期,在沙流河镇一带出山口形成 的规模较大的冲积扇;第二期为早更新世中期,古滦河在现今丘庄水库一带发生分流,在丰润区一带出 山口形成的冲积扇。中更新世,第一期冲积扇开始萎缩,第二期冲积扇继续发育,形成巨厚砾石层;晚 更新世,古滦河在迁西县城以北发生袭夺,东流迁移出研究区,在西峡口进入迁安盆地,形成以西峡口 为顶点的冲积扇。

关键词: 第四纪; 古滦河冲积扇; 钻孔; 古地磁; 光释光; 测井曲线 中图分类号: P534.63; P318.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-6616 (2023) 01-0138-15 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2022023

0 引言

华北平原作为半湿润区,山前分布较多的冲积 扇,如燕山山前古滦河冲积扇、永定河冲积扇和太 行山山前滹沱河冲积扇(林旭等, 2021)。滦河发源 于内蒙古高原巴延吉尔山北麓,穿燕山山脉进入华 北平原,在更新世形成了以滦县为顶点的冲积扇, 其主体分布在整个冀东地区。滦河在中游燕山山 区受到强烈的断裂控制,多处呈直角拐弯,其中迁 西拐弯处对古滦河演化发育尤为重要。迁西以上, 滦河由北南流,沿河分布四级阶地;迁西以下,河道 转折东流,沿岸有一、二级阶地。拐点上、下游阶 地的突然不连续,表明迁西附近是滦河重要的分流 点(高善明, 1985)。据遥感影像和地形地貌判断, 古滦河曾由迁西县顺直往南,经照燕州村,沿还乡 河故道南流,经唐山市丰润区出山口,在山前堆积 了中、早更新世古老冲积扇(李从先等,2013)。由 于燕山山脉新构造运动十分活跃,山脉阶段性不均 衡抬升,造成了古滦河改道和变迁,进而控制和影 响着古滦河冲积扇演化,以致其阶段性由西向东摆 动(吴忱, 1984)。

已有的古滦河冲积扇的研究关注点更多在全新 世(高善明,1981,1982;李元芳等,1982;李从先等, 1984;胡云壮等,2014;薛春汀,2016),对其岩性特 征、微体古生物特征、沉积演化模式、地下水循环 等都做过系统研究,但缺乏利用钻孔地层特征对晚 更新世及以前古滦河冲积扇演化变迁的研究。一 些学者通过对滦河在迁西拐弯处的地形地貌、阶地 中"珠状砂"以及沉积物成分的研究,普遍认为滦河 改道发生在晚更新世之前,沿照燕州村向南出山口 形成以丰润区为顶点的冲积扇(吴忱, 1984;大港油 田地质研究所等, 1985;高善明, 1985),但这些研究 仅仅依靠遥感影像、野外地形地貌等进行判断,证 据不够充分。且对古滦河冲积扇规模、沉积厚度、 扇体迁移时限等认识不清,没有进行过钻孔岩石地 层、年代地层以及磁性地层研究。

文章以唐山西部玉田-丰润一带为研究区,对区 内 PZK10、PZK20两个全孔取芯标准孔分别进行古 地磁、光释光测年、色度与沉积相分析,并与已有 研究报道(胡云壮等,2014;秦帮策等,2021)进行对 比,确定了古滦河冲积扇第四纪以来的沉积特征以 及扇体由西向东迁移时间,建立古滦河冲积平原地 区第四纪地层格架,以期为该地区地下水开发利 用、地面沉降机理研究、地下空间开发利用、重大 工程建设等提供基础地质支撑。

1 区域地质背景

研究区位于塔里木-华北板块的华北陆块,其所 在的三级构造单元为燕山-辽西裂陷带,四级构造 单元为马兰峪复式背斜,五级构造单元横跨大钟庄 凹陷(鸦鸿桥凹陷)和丰南穹褶(唐山凸起)(河北省 区域地质矿产调查研究所,2017;图1)。

研究区新构造运动活跃,以继承性构造活动为 主,北部燕山山区呈继承性上升状态,遭受剥蚀,南 部平原区为继承性的下降,接受沉积。第四系沉积 物主要是以沙流河为顶点的古滦河冲积扇的砂砾 石层、中细砂,少量黏土层;鸦鸿桥凹陷和唐山凸起 位于研究区南部平原区,二者以丰台-野鸡坨断裂 为界。鸦鸿桥凹陷位于丰台-野鸡坨断裂北西侧下 降盘,新生界厚度最大超过800m,第四系沉积物主



a一研究区位置及古滦河冲积扇地貌遥感影像图;b一大地构造位置

图1 研究区大地构造位置及古滦河冲积扇地貌遥感影像图

Fig. 1 Geotectonic location of the study area and remote sensing image of the ancient Luanhe fluvial fan landform

(a) Location of the study area and remote sensing image of the ancient Luanhe River fluvial fan landform; (b) Geotectonic position

要以湖泊相、扇三角洲前缘相的暗灰色黏土、粉细砂沉积为主。唐山凸起位于丰台-野鸡坨断裂南东侧上升盘,新生界厚度一般小于200m,第四系沉积物主要为以丰润为顶点的古滦河冲积扇沉积的砂砾石层,以及辫状河沉积的中粗砂、中细砂(李勇,1987;陈宏强等,2021)。

2 钻孔地层沉积相分析

2.1 色度样品测试方法

色度样品为每个野外分层取1件,共采集 272件样品(PZK10孔)。色度测试在中国地质调查 局天津地质调查中心实验测试室完成。测试前样 品在温室条件下自然风干,在不损坏自然颗粒结构 前提下捣碎磨细,过 74μm 干筛后取少量样平摊纸 上,在避光的室内用 SPAD-503 便携式色度仪测量 各样品 3 次,取其均值,记录样品的红度(a*)、黄度 (b*)和亮度(L*)。其中 a*值的变化,受控于沉积物 中的赤铁矿、磁铁矿等致色矿物的含量,尤以赤铁 矿对 a*值的贡献最大; b*值主要受控于不同价态铁 的氢氧化物的含量。a*值>2.5、b*值>13 时为河流或 冲积扇相沉积; a*值<2.5、b*值<13 为湖相或海相沉 积(方小敏等, 1997; 王乃昂等, 1999; 沈吉等, 2001; 吴艳宏和李世杰, 2004; 徐丽等, 2009)。L*值的高低 主要与沉积物中碳酸钙、石英、长石等浅色矿物以 及有机质的含量多少有关。

2.2 PZK10 孔基本情况及沉积特征

PZK10孔(39°51′55″N; 117°52′05″E)位于唐

山市丰润区张唐庄村, 孔口标高 17 m, 孔深 300.15 m, 钻孔揭穿新生代地层, 底部为蓟县系雾迷山组灰色 粉晶灰岩, 厚 6.3 m(图 2)。全孔岩心采取率达 94.9%, 除砾石、粗砂层不能采样测古地磁外, 岩心状况基 本满足了磁性地层学研究的要求。

测井曲线中自然伽玛与视电阻率曲线直接反映 地层的粒度和泥质含量等特征。通过两种测井曲 线特征能反映沉积相特点,以及垂向序列特征,进 而达到重建沉积环境的目的。自然伽玛数值越大, 表明地层中泥质含量越高;视电阻率数值越大,表 明沉积物粒度越粗(王金荣和刘洪涛,2004;宋璠 等,2009;赵琳琳等,2016)。根据测井曲线特征(马 正,1982)反映的沉积相,结合色度特征,可将研究 钻孔划分为5种沉积相(微相)(表1,图3)。

189.20~293.85 m 层段为冲积扇相, 岩性主要为 灰绿色、棕红色"泥包砾"层, 夹半固结的砂层、黏 土层等。砾石磨圆度较好, 说明经历了一定距离的 搬运;分选较差,表明沉积速度较快,未及分选;砾 石直径大多1~5 cm,大者可达10 cm以上,成分复 杂,有石英砂岩、安山岩、粗面岩等。黏土层呈强 棕色,质密、较硬,局部为半固结状泥岩,且含大量 黑色锰质斑点。该层段自然伽玛与视电阻率值均 总体偏高,表明砾石间隙充填物主要为黏土,为泥 石流沉积的"泥包砾"。

147.90~189.20 m 层段为辫状河相, 主体为淡棕 色含砾粗砂、粗砂、细砂, 夹薄层砾石层, 顶部为黏 土质细砂和黏土。测井曲线中视电阻率值下部偏 高, 向上逐渐减小, 呈钟形; 自然伽玛数值下部较 低, 向上逐渐变高, 表明底部沉积物以砂为主, 上部 以黏土为主。下部砂和砾石层发育平行层理, 上部 黏土质粉砂、黏土发育韵律层理, 含白色钙质结 核。色度 a*>2.5、b*>13、L*>55, 表明该层段符合河 流相沉积环境特征。

133.00~147.90 m 层段为冲积扇相,由砂砾层、



图 2 PZK10 钻孔岩心照片 Fig. 2 Photograph of the borehole PZK10

133.00~ 147

Carden Carden



1 Statistical table of sedimentary facies characteristics									
沉积相(微相)	微相) 色度特征 测井曲线特征								
冲积扇相	a*>2.5, b*>13	视电阻率和自然伽玛曲线一般呈高幅箱形,视电阻率数值较高,自然伽玛数值也较高							
湖泊相	a*<2.5, b*<13	视电阻率曲线一般呈漏斗形,自然伽玛曲线呈钟形,视电阻率数值较低,自然伽玛数值较高							
辫状河相	a*>2.5, b*>13	视电阻率曲线一般呈钟形、箱型;自然伽玛曲线一般呈高幅齿形或呈高幅指形;砂泥比较高							

扇前平原微相

Table

河漫沼泽微相	a*<2.5、b*<13	视电阻率呈低幅箱形,自然伽玛呈高幅指形、	箱型,视电阻率数值较低,自然伽玛数值较高

a*>2.5, b*>13 视电阻率曲线呈微齿形,自然伽玛曲线呈高幅齿形,齿中线呈水平平行式



图 3 PZK10 孔色度曲线、测井曲线、沉积相分类图

Fig. 3 Color index curves, logging curves and sedimentary types of the borehole PZK10

棕黄色细砂等组成,视电阻率和自然伽玛值均较高,表明砂砾层内黏土含量较高,具有泥石流沉积特征,应为扇根亚相。上部细砂、粉砂、黏土属扇缘亚相,纵向上发育1个下粗上细的退积型冲积扇旋回。

118.00~133.00 m 层段为湖泊相,由深黄棕色、 深暗灰棕色黏土、黏土质粉砂、淡棕色含黏土细 砂、细砂组成,发育韵律层理,含黑色锰质斑点和灰 白色钙质结核。垂向呈下细上粗的反旋回沉积序 列,视电阻率曲线呈漏斗形,自然伽玛曲线呈钟形, 下部色度指标较低,a*<2.5、b*<13、L*<50,表明该 层段属于湖相环境。

91.80~118.00 m 层段为冲积扇相,由砂砾层、棕 黄色细砂、粉砂等组成,其中砂砾层内黏土含量较 高,视电阻率和自然伽玛值均较高,为"泥砂包 砾",具有泥石流沉积特征,为扇根亚相。上部细 砂、粉砂属扇端亚相,发育斜层理,纵向上发育2个 下粗上细的退积型冲积扇旋回。色度指标 a*>2.5、 b*>13,根据色度分析,该层段属于冲积扇相沉积环境。

77.15~91.80 m 层段为湖泊相,下部为暗灰绿色 黏土、粉砂,向上逐渐过渡为黄色、棕黄色粉砂、细 砂,垂向呈逆粒序,发育韵律层理、水平层理,垂向 呈下细上粗的反旋回沉积序列;视电阻率曲线呈漏 斗形,自然伽玛曲线呈钟形,沉积水体为静水环境, 色度 a*<2.5、b*<13,据色度分析该层段属于湖相沉 积环境。

39.4~77.15 m 层段为辫状河相,主体为淡棕 色、黄色砂、细砂、砾质粗砂、砂砾及少量含黏土粉 砂、含粉砂黏土等,砂泥比较高,砂分选性中等,局 部发育斜层理、平行层理。色度指标整体较高, a*>2.5、b*>13、L*>55,表明为河流相沉积环境。

28.55~39.40 m 层段为湖泊相,由暗绿灰色黏 土、粉砂组成,发育韵律层理,含黑色锰质斑点;视 电阻率值较低,自然伽玛值较高,说明沉积物主要 为黏土。由下向上,色度 a*<2.5、b*<13,表明其沉积 环境属于湖相沉积环境。

21.15~28.55 m 层段为冲积扇相, 沉积物主要形成于冲积扇环境。底部为砂砾层, 砾石磨圆较好, 成分复杂, 填隙物含较多黏土, 对应视电阻率和自然伽玛值均较高, 属冲积扇泥石流沉积。

0~21.15 m 层段为辫状河相, 沉积物主要为黄 色细砂、中粗砂, 夹少量粉砂、黏土, 砂泥比较高, 砂粒分选磨圆较好, 成熟度高, 发育正粒序层理、均 匀层理、斜层理。色度指标整体较高, a*>2.5、b*> 13、L*>50,表明该层段为河流相沉积环境。

2.3 PZK20 孔基本情况及沉积特征

PZK20孔(39°43′14″N;118°04′29″E)位于唐 山市玉田县老庄子镇七王庄村,孔口标高27.3 m,孔 深180 m,揭穿第四系(图4,图5),全孔平均取心率 >85%。除去砾石、粗砂层不能采样测试古地磁外, 该孔取心率和岩心状况基本满足了磁性地层学研 究的要求,磁性地层研究参考陈宏强等(2021)研究 成果,同时测试了118个色度样品。

154.8~180.0 m 层段岩性主要为"泥包砾",砾 石间填隙物主要以泥质成分为主;视电阻率曲线呈 现出高幅度指形、漏斗形等变化特征,表明沉积过 程中能量变化大,沉积物粒径较粗,该层段应为冲 积扇相。

138.3~154.8 m 层段为扇前平原微相,物质组成 为红色、红黄色黏土、粉细砂,可见黑色锰质斑点; 视电阻率曲线呈低阻、微齿形,反映当时沉积环境 和沉积物来源较稳定;自然伽玛曲线呈高幅齿形, 齿中线呈水平平行式,泥质含量呈匀速变化,表明 水动力突发性快速变化。色度指标 a*>2.5、b*>13, 表明该层段属于冲积扇相沉积。

123.10~138.30 m 层段为辫状河相,该段沉积物 主要为棕黄色、棕灰色、浅黄色中砂、细砂,夹少量 薄层粉砂和黏土,发育斜层理、平行层理,垂向构成 正旋回;视电阻率曲线呈现中高幅度钟形、箱形;自 然伽玛曲线呈低幅,表明泥质含量很低,结构成熟 度高。色度指标 a*>2.5、b*>13,表明该层段属于河 流相沉积。

116.1~123.1 m 层段为河漫沼泽微相, 沉积物主要为深灰色、棕灰色黏土, 含少量铁质结核和钙质结核。视电阻率曲线呈低幅箱形, 自然伽玛曲线呈高幅箱形。色度指标偏低, a*>2.5、b*>13。由于该钻孔位于唐山凸起构造单元, 古地势略高, 故认为该套沉积物形成于河漫沼泽环境。

78.95~116.10 m 层段为辫状河相,由浅棕色、黄 棕色中砂、细砂和少量粗砂,夹黄红色、棕红色粉 砂、黏土,发育平行层理、斜层理等;中砂、细砂成 熟度较高,成分以石英为主,磨圆较好,泥质填隙物 极少,表明水动力较强,且具有一定的搬运距离;视 电阻率曲线呈箱形一钟形,自然伽玛曲线呈低幅箱 形,说明以砂为主,黏土含量较少,砂泥比较高。色 度指标 a*>2.5、b*>13、L*>57,表明该层段属于河流 相沉积。

74.8~78.95m 层段为河漫沼泽微相, 沉积物主







图 4 PZK20 孔照片(据陈宏强等, 2021 修改) Fig. 4 Photographs of the borehole PZK20(modified from Chen et al., 2021)

要为灰色、暗灰色黏土、有机质黏土,含锰质结核; 视电阻率曲线呈低幅箱形,自然伽玛曲线呈高幅指 形。色度指标偏低,a*<2.5、b*<13、L*<55。结合钻 孔所处构造单元位置,该层段应形成于河漫沼泽环境。

48.9~74.8 m 层段为辫状河相, 主要由黄棕色、 黄色、浅灰色粗砂、中砂、细砂组成, 夹少量粉砂和 黏土, 发育平行层理、正粒序层理, 偶见锰质结核。 中砂、细砂成熟度较高, 磨圆较好; 视电阻率和自然 伽玛曲线呈箱形-钟形, 局部呈指形, 说明黏土含量 较少, 砂泥比较高。色度指标 a*>2.5、b*>13、L*> 55,表明该层段属于河流相沉积。

36.5~48.9 m 层段为冲积扇相,该段地层下部岩 性为浅黄褐色砂砾石层,砾径为1~10 cm 为主,岩 性主要为粗安岩、花岗岩、石英砂岩,磨圆较好;顶 部岩性为棕红色粉砂、黏土,可见黑色锰质结核,直 径1~2 mm。砾石层段视电阻率和自然伽玛曲线呈 高幅箱形,表明砾石中泥质填隙物含量较高,属冲 积扇泥石流沉积;在顶部出现低值,表明该层段为 冲积扇退积后的扇前平原沉积。

0~36.5m层段为辫状河,主要岩性为浅灰色、



图 5 PZK20 孔色度曲线、测井曲线、沉积相分类图

Fig. 5 Color index curves, logging curves and sedimentary types of the borehole PZK20

棕黄色、黄棕色黏土、黏土质粉砂、粉砂、中细砂、 砾质粗砂。黏土中可见黑色锰质结核和锈黄色铁 质结核;砂分选性好、磨圆度好,发育平行层理,发 育平行层理。垂向共发育4个下粗上细的地层结 构,代表4次沉积旋回;每个旋回对应的视电阻率 曲线均呈钟形;自然伽玛曲线为高幅齿形,局部呈 高幅指形。该段水动力由下向上呈减弱趋势,自然 伽玛曲线齿中线呈水平平行式,泥质含量呈匀速变 化,表明水动力均匀变化。色度指标 a*>2.5, b*>13、 L*>55,表明该层段为河流相。

3 钻孔磁性地层研究

3.1 古地磁样品采集与测试

岩心被劈成两半,按间距 0.5~1 m 采集手标本,标记顶底方向,室内加工成边长 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体样品。由于砂砾石层无法取样,PZK10 钻孔 共采集样品 215 件。

样品测试在中国科学院地质与地球物理研究所

古地磁实验室完成。PZK10 孔样品分别采用混合退 磁和热退磁方法,在 TD-48 热退磁炉中从室温退至 120℃,转为交变退磁,步长为 5~10 mT,最大交变 退磁场为 70 mT,再转为热退磁,从 200 ℃ 退至 690 ℃, 温度间隔为 10~50 ℃。剩磁在美制 2G-760R 低温 超导磁力仪上进行。热退磁样品剩磁强度衰减曲 线显示:多数样品在 250℃ 以下退掉黏滞剩磁,300~ 690 ℃ 分离出稳定的特征剩磁;表明磁铁矿和赤铁 矿为主要的携磁矿物(图 6)。

各样品通过主成分分析法与过原点的线性拟合 (Kirschvink, 1980),即可获得特征剩磁方向。为此, 选择退磁步骤至少为4步的样品,对于最大角偏差 (MAD)大于15°的样品予以剔除。继而由PZK10孔 150件样品(占全部样品的69.8%)中分离出特征剩 磁,并建立了磁性地层序列(图7)。

3.2 磁性地层划分

PZK10孔古地磁极性柱可分辨出8个极性带 (图7),其中4个正极性带,分别为N1(0~77.42m)、 N2(108.10~118.00m)、N3(153.35~159.15m)、N4



M一磁化强度;NRM一天然剩磁强度

图 6 PZK10 钻孔代表样品正交矢量投影图和热退磁强度衰减曲线图

Fig. 6 Orthogonal vector plots and decay curves of the natural remanent magnetization(NRM) of representative specimens from the borehole PZK10

M-magnetization; NRM-natural remanent magnetization

(189.30~225.50 m);4个负极性带,分别为R1(77.42~
108.10 m)、R2(118.00~153.35 m)、R3(159.15~
189.30 m)、R4(225.50~229.90 m)。R1、R2、R3 均对

应 Matuyama 负极性时, N1 对应 Brunches 正极性时。N2 为一套细碎屑沉积物, 岩性为棕黄色黏土质粉砂、粉砂质黏土, 由于其距离 Brunches 正极性时



图 7 PZK10、PZK20 孔岩石地层、磁性地层及其地磁极性年表(Cande and Kent, 1995)对比图 Fig. 7 Lithostratigraphy and magnetic stratigraphy of the boreholes PZK10 and PZK20, and their correlations with the geomagnetic polarity timescale(Cande and Kent, 1995)

较近,认为其应为 Jaramillo 正极性亚时; Olduvai 正极性亚时持续事件长,且强度大,在邻区其他钻孔中均有出现(胡云壮等,2014;陈宏强等,2021),因此推断 N3 对应 Olduvai 正极性亚时, N4 为 Gauss 正极性时, R4 为 Kaena 负极性亚时。

PZK20孔的磁性地层主要依据陈宏强等(2021) 对其进行的划分。

4 钻孔年代地层研究

4.1 光释光样品测试方法

依据区域地层沉积速率结合光释光测年有效年

龄范围,在 PKZ10 孔采集深度约 40 m 以内粉细砂样 品,采样间隔为 10~20 m。采样应在岩心未劈开 前,在岩心横切面中心,用铁皮罐砸入岩心中避光 采取,并及时用黑色塑料袋包装,避免阳光照射。 此次工作分别在埋深 12.4 m 和 29.8 m 处,采集两个 样品,岩性为黄色、淡棕色粉细砂。样品测试在北 京光释光实验室科技有限公司完成,在 Daybreak 2200(美国)光释光仪上测定。该系统蓝光光源波长 为 470 nm,半宽 5 nm,最大功率为 60 mW/cm²;红外 光源波长为 880 nm,半宽 10 nm,最大功率为 80 mW/cm², 试验剂量预热温度 220℃ 10秒。需要辐照的测片都 是在 801E 辐照仪中进行的,其 90Sr-Yβ放射源的 照射剂量率约为 0.081432 Gy/Sec。所有样品采用细 颗粒简单多片再生法获得等效剂量值,用饱和指数 方法进行拟合。

4.2 钻孔年代地层

在 12.4 m 和 29.8 m 处获得光释光年龄分别为 98.3±9.8 ka 和>115.3 ka(表 2),粉细砂分选性、磨圆 度均较好,样品得到充分曝光,下伏地层为一套湖 相沉积地层,埋深为 30.6~39.4 m(图 3)。区域资料 显示(天津市地质调查研究院和河北省地质调查 院, 2005),渤海湾沿岸晚更新世第一次海侵发生于 晚更新世早期,时间为110~70 ka海水沿河流上溯 淹没陆地,西至杨柳青,北达黑狼口、八门城,东至 黄花店,东到玉田南部、唐山胥各庄至柏各庄南附 近,沉积了渤海湾沿岸第Ⅲ海侵层(汪品先等, 1981; 王强和田国强, 1999; 王强等, 2008; 王强和李 从先, 2009; 胥勤勉等, 2011)。据此,并结合光释光 年龄判断,该套湖相地层对应 MIS5 阶段沉积,故将 PZK10 孔上更新统底界置于湖相地层底部,埋深约 为 39.40 m。PZK20 孔的年代地层参照陈宏强等 (2021)做的划分,上更新统底界埋深为 36.2 m,中更 新统底界埋深为 73.0 m,第四系底界埋深为 155.0 m。

表 2 PZK10 钻孔光释光样品信息及测年数据统计表

Table 2 OSL sample information and dating data in the borehole PZK10

	-			-		-	
样品编号	埋深/m	等效剂量/Gy	U/×10 ⁻⁶	Th/×10 ⁻⁶	K/%	含水量/%	年龄/ka
PZK10-OSL1	12.4	330.9	0.90	4.38	2.42	8.26	98.3±9.8
PZK10-OSL2	29.8	>375.0	0.90	4.01	2.40	17.10	>115.3

5 古滦河冲积扇的演化与变迁讨论

5.1 冲积扇不同位置钻孔对比

通过查阅资料,收集到研究区4个地质钻孔资料,钻孔位置见图1。胡云壮等(2014)报道了唐山 西部丰润七树庄中心小学ZK1钻孔,且进行了详细 地层旋回划分。焦2、K6为1980年河北省唐山市 丰润新区城市供水项目施工的水文地质钻孔;丰 1为冀东平原农田供水项目施工水文地质钻孔。 4个钻孔岩心描述详实,测井曲线对岩性特征反应 较好,对此次研究工作具有很好的利用价值。现将 ZK1钻孔与焦2孔参照此次研究的基准孔进行年代 地层划分。

ZK1钻孔位于以沙流河镇出山口的第一期冲积 扇上,可与PZK10孔进行对比。孔深约180m,揭穿 晚新生代,底部基岩为灰岩(图8)。自第四纪以来 沉积了巨厚的冲积扇相砾石层,总厚度约140m,直 到晚更新世中晚期才沉积了薄层的辫状河砂体。 参照PZK10孔按照前述依据测井曲线判断钻孔沉 积相的方法结合岩性描述,将钻孔重新划分。 ZK1钻孔位于凸起之上,古地形较高,上新世沉积 的"泥包砾"层被剥蚀,第四纪沉积物直接不整合覆 于基岩上。中更新统底界埋深定为84.25m,岩性为 灰绿色、暗灰色中细砂层,对应 PZK10孔 77.42m处 湖泊相沉积的暗灰色中细砂,下部均为冲积扇相砾 石层;晚更新统底界埋深定为37.75m,岩性为灰黑 色淤泥、黏土层,对应 PZK10孔晚更新世底部沉积 的湖相地层(28.55~39.40m)。

焦2钻孔位于以丰润区出山口的第二期冲积扇 上,可与PZK20孔进行对比。孔深约207m,揭穿晚 新生代,底部基岩为灰岩(图8)。早更新世中早期, 沉积物以细颗粒为主,岩性为黏土、粉砂;早更新世 晚期,沉积了巨厚砾石层,厚约40m,发育一个完整 的冲积扇扇根--扇缘旋回;中更新世发育厚约42m 的砾石层,晚更新世沉积物以辫状河砂体为主。参 照PZK20孔对焦2孔年代地层进行划分,两孔孔深 相似,底部均沉积了上新世"泥包砾",厚约11.70m; 中更新统底界为79.80m,72.40~79.80m为辫状河 沉积的砂砾石层对应于PZK20孔埋深48.90~74.80m 的辫状河相沉积的砂砾石、中细砂等;晚更新世底 界埋深为38.40m,对应于PZK20孔 36.50m处,下部 均为冲积扇沉积的砾石层。

5.2 古滦河冲积扇演化与变迁

研究区位于滦河冲积扇中北部(图1),区内主 要发育2个规模较大的冲积扇,分别是以沙流河镇 为顶点的第一期冲积扇,以及以丰润区为顶点的第 二期冲积扇,通过PZK10、PZK20钻孔年代地层、磁 性地层、沉积相分析等研究结合搜集已有的钻孔



图 8 ZK1、焦2钻孔地层柱状图及测井曲线(胡云壮等, 2014)

Fig. 8 Stratigraphic column and logging curves of the boreholes ZK1 and Jiao-2 (Hu et al., 2014)

(丰1、ZK1钻孔、K6、焦2)组成第四纪联孔剖面图(图1,图9),对第四纪以来古滦河冲积扇在该区的演化进行初步探讨。

带出山口形成规模较大的冲积扇,即第一期冲积 扇,沉积了厚约90m砾石层;早更新世中期,在古滦 河上游的丘庄水库一带发生分流(吴忱,1984),并 在丰润一带出山形成冲积扇,即第二期冲积扇,沉

早更新世早期,古滦河首先在沙流河镇北部一



图9 研究区钻孔联合剖面图

Fig. 9 Joint borehole profile of the study area

积了厚约40m砾石层。该套砾石层仅在焦2孔中 揭露,未在PZK20孔中发现,推测此时车轴山地区 基岩出露面积较大,对冲积扇起到了一定的阻挡作用。

中更新世,为第一期冲积扇向第二期冲积扇过 渡阶段。由于燕山山脉阶段性不均衡抬升(徐杰 等,2005),以致滦河由西向东的摆动,在丘庄水库 一带古滦河改道。此时 ZK1 孔沉积了厚约 20 m的 砾石层,而 PZK10 孔为沉积了冲积扇后的辫状河沉 积砂体。这也正好印证了此时水动力正在减弱,冲 积扇已无法到达相对海拔较高的 PZK10 孔。同时 第二期冲积扇也正在发育,并且规模较大,焦 2 孔 内沉积了厚约 40 m的砾石层。中更新世后期,车轴 山基岩出露面积逐渐减少,隔挡作用减弱, PZK20 孔沉积了厚约 20 m的砾石层。

晚更新世初期(MIS5阶段),气候变暖,渤海湾 地区发生海侵。研究区内湖泊扩张,迫使北侧山区 第一期冲积扇和第二期冲积扇发生退积,古滦河在 迁西县城以北发生袭夺,东流迁移出研究区,在西 峡口进入迁安盆地,南流出山区进入平原,形成以 西峡口为顶点的冲积扇。随着气候由暖变冷,区域 海侵结束,区内湖泊开始萎缩。到晚更新世中期, 此时沙流河贯通,形成小规模的沙流河冲积扇, PZK10与ZK1钻孔中泥砾层厚约20m,晚更新世晚 期过渡为辫状河沉积。

6 结论

(1)通过 PZK10 的磁性地层,结合光释光测年 结果,建立其第四纪年代地层格架。PZK10 孔早更 新世底界为 189.30 m,中更新世底界为 77.42 m,晚更 新世底界为 39.4 m;早更新世时期内分别在 108.10~ 118.00 m 处识别出了 Jaramillo 正极性亚时, 153.35~ 159.15 m 处识别出了 Olduvai 正极性亚时。

(2)对 PZK10、PZK20 孔岩石组合、测井曲线及 色度特征进行研究,结果表明 PZK10 孔上新世时沉 积了巨厚洪积成因"泥包砾"层,早更新世时发育两 个冲积扇--湖相旋回;中更新世时发育辫状河,晚更 新世发育湖相、冲积扇相、辫状河相地层; PZK20 孔 上新世与 PZK10 孔类似,沉积了一套巨厚"泥包 砾"层;早更新世为扇前平原-辫状河相沉积,中更 新世为辫状河-冲积扇相沉积,晚更新世为辫状河 沉积。

(3) 古滦河冲积扇自第四纪以来总体呈现出从

西向东迁移的规律。早更新世早期,古滦河冲积扇 以沙流河镇一带出山口,形成第一期古滦河冲积 扇;早更新世中期,古滦河在上游的丘庄水库一带 发生分流,并在丰润北部出山口形成冲积扇,形成 第二期古滦河冲积扇。两期冲积扇一直持续至中 更新世末期,此间呈现出第一期冲积扇向第二期冲 积扇过渡的特征。晚更新世初期,古滦河冲积扇向 东迁移出研究区,形成以西峡口村为顶点的冲积扇。

References

- CANDE S C, KENT D V, 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic[J]. Journal of Geophysical Research:Solid Earth, 100(B4): 6093-6095.
- CHEN H Q, ZHUAN S P, CHEN C, et al., 2021. Quaternary activity of the Fengtai-Yejituo fault in Tangshan, Hebei Province: evidence from ¹⁴C and magnetic stratigraphy[J]. Geology in China, 48(2): 605-617. (in Chinese with English abstract)
- FANG X M, XI X X, LI J J, et al., 1997. Discovery of the late Miocene climate change and its significance in Western China[J]. Chinese Science Bulletin, 42(23): 2521-2524. (in Chinese)
- GAO S M, 1981. Facies and sedimentary model of the Luan Riverdelta[J]. Acta Geographica Sinica, 36(3): 303-314. (in Chinese with English abstract)
- GAO S M, 1982. Supplement new recognition on Luanhe River delta[J]. Acta Geographica Sinica, 37(4): 424-426. (in Chinese)
- GAO S M, 1985. Structures and sedimentary environments of the alluvial fan of the Luan River[J]. Geographical Research, 4(1): 54-62. (in Chinese with English abstract)
- Geological Institute of Dagang Oil Field, Bureau of Marine Petroleum Exploration, Institute of Marine Geology, Tongji University, 1985. The Luanhe River alluvial fan-delta[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-164. (in Chinese)
- HU Y Z, ZHANG J Q, BAI Y N, et al., 2014. Records of regional tectonic and climatic evolution since 3.45 Ma BP at Borehole TD1 of Tangshan in the middle part of Luanhe River fluvial fan[J]. Journal of Palaeogeography, 16(2): 249-262. (in Chinese with English abstract)
- KIRSCHVINK J L, 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data[J]. Geophysical Journal International, 62(3): 699-718.
- LI C X, CHEN G, WANG C G, et al., 1984. On the Luanhe river alluvial fandelta complex[J]. Acta Petrolei Sinica, 5(4): 27-36. (in Chinese with English abstract)
- LI C X, WANG Q, FAN D D, 2013. Oceanic delta[C]//Sedimentology of China. Beijing: Petroleum Industry Press: 812-905. (in Chinese)
- LI Y, 1987. Mechanism of the appearance of Fengrun-Fengtai concealed active fault on Landsat image[J]. Journal of Seismology, 21(1): 39-42. (in Chinese with English abstract)
- LI Y F, GAO S M, AN F T, 1982. A preliminary study of the Quaternary marine strata and its Paleogeographic significance in the Luanhe delta

region[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 13(5): 433-439. (in Chinese with English abstract)

- LIN X, LIU J, WU Z H, et al., 2021. Study on borehole provenance tracing and fluvial sediment diffusion in the Bohai Sea: double constraints from detrital zircon U-Pb age and in-situ geochemical element of apatite grains[J]. Journal of Geomechanics, 27(2): 304-316. (in Chinese with English abstract)
- MA Z, 1982. Utilization of the combination of log shapes for explanation of the sedimentary environment[J]. Oil & Gas Geology, 3(1): 25-40. (in Chinese with English abstract)
- QIN B C, FANG W X, ZHANG J G, et al., 2021. Quaternary sedimentary sequence and sedimentary environment restoration in the Jinzhong Basin, Fenhe Rift Valley[J]. Journal of Geomechanics, 27(6): 1035-1050. (in Chinese with English abstract)
- Regional Geological and Mineral Resources Survey Institute of Hebei Province, 2017. The regional geology of China, Hebei Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-1272. (in Chinese)
- SHEN J, ZHANG E L, XIA W L, 2001. Records From lake sediments of the Qinghai lake to mirror climatic and environmental changes of the past about 1000 years[J]. Quaternary Sciences, 21(6): 508-513. (in Chinese with English abstract)
- SONG F, HOU J G, ZHANG Z, et al., 2009. Application of log curves in indicating sedimentary micro-facies of lake facies basins[J]. Well Logging Technology, 33(6): 589-592. (in Chinese with English abstract)
- WANG J R, LIU H T, 2004. Identification of sedimentary microfacies of logging and its application [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 28(4): 18-20. (in Chinese with English abstract)
- WANG N A, LI J J, CAO J X, et al., 1999. A preliminary research on the climatic records of lacustrine deposits of Qingtu Lake in the last 6000 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 19(2): 119-124. (in Chinese with English abstract)
- WANG P X, MIN Q B, BIAN Y H, et al., 1981. Strata of quaternary transgressions in East China: a preliminary study[J]. Acta Geological Sinica, 55(1): 1-13. (in Chinese with English abstract)
- WANG Q, TIAN G Q, 1999. The neotectonic setting of late Quaternary transgressions on the Eastern coastal plain of China[J]. Journal of Geomechanics, 5(4): 41-48. (in Chinese with English abstract)
- WANG Q, LI C X, 2009. The type of quaternary sequence in the East China coastal plain[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 29(4): 39-51. (in Chinese with English abstract)
- WANG Q, ZHANG Y F, YUAN G B, et al., 2008. Since MIS 3 stage the correlation between transgression and climatic changes in the North Huanghua area, Hebei[J]. Quaternary Sciences, 28(1): 79-95. (in Chinese with English abstract)
- WU C, 1984. Surface ancient channels in Hebei Plain[J]. Acta Geographica Sinica, 39(3): 268-276. (in Chinese with English abstract)
- WU Y H, LI S J, 2004. Significance of lake sediment color for short time scale climate variation[J]. Advances in Earth Science, 19(5): 789-792. (in Chinese with English abstract)
- XU J, MA Z J, CHEN G G, et al., 2005. Estimating times of quaternary tectonic episodes in the Bohai sea based on Geomorphic features of surrounding mountainous areas[J]. Quaternary Sciences, 25(6): 700-710.

 $(in \ Chinese \ with \ English \ abstract)$

- XU L, MIAO Y F, FANG X M, et al., 2009. Middle Eocene-Oligocene climatic changes recorded by sedimentary colors in the Xining Basin, in northeastern Tibetan Plateau, NW China[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 45(1): 12-19. (in Chinese with English abstract)
- XU Q M, YUAN G B, ZHANG J Q, et al., 2011. Stratigraphic division of the late Quaternary strata along the coast of Bohai Bay and its geology significance[J]. Acta Geologica Sinica, 85(8): 1352-1367. (in Chinese with English abstract)
- XUE C T, 2016. Extents, type and evolution of Luanhe river fan-delta system, China[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 36(6): 13-22. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO L L, XU Q M, YANG J L, et al., 2016. Sedimentary evolution of BG10 borehole in northern coast of Bohai Bay during Late Cenozoic[J]. Quaternary Sciences, 36(1): 196-207. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈宏强,专少鹏,陈超,等,2021.河北省唐山地区丰台-野鸡坨断裂第 四纪活动性一来自¹⁴C和磁性地层年代学的证据[J].中国地质, 48(2):605-617.
- 大港油田地质研究所,海洋石油勘探局研究院,同济大学海洋地质研究所,1985. 滦河冲积扇-三角洲沉积体系 [M]. 北京: 地质出版 社: 1-164.
- 方小敏,奚晓霞,李吉均,等,1997.中国西部晚中新世气候变干事件的发现及其意义[J].科学通报,42(23):2521-2524.
- 高善明,1981. 全新世滦河三角洲相和沉积模式[J]. 地理学报, 36(3):303-314.
- 高善明,1982.对滦河三角洲一些补充和再认识[J].地理学报, 37(4):424-426.
- 高善明, 1985. 滦河冲积扇结构和沉积环境[J]. 地理研究, 4(1): 54-62.
- 河北省区域地质矿产调查研究所,2017.中国区域地质志·河北志 [M].北京:地质出版社:1-1272.
- 胡云壮,张金起,白耀楠,等,2014.3.45 Ma 以来滦河冲积扇中部唐山 TD1 孔记录的区域构造和气候演化 [J].古地理学报,16(2): 249-262.
- 李从先,陈刚,王传广,等,1984.论滦河冲积扇-三角洲沉积体系[J]. 石油学报,5(4):27-36.
- 李从先, 王强, 范代读, 2013. 海洋三角洲 [C]//中国沉积学. 北京: 石油 工业出版社: 812-905.
- 李勇, 1987. 丰润-丰台隐伏活动断裂在卫星影象上的表现机制[J]. 地震学刊, 21(1): 39-42.
- 李元芳,高善明,安凤桐,1982. 滦河三角洲地区第四纪海相地层及 其古地理意义的初步研究[J].海洋与湖沼,13(5):433-439.
- 林旭,刘静,吴中海,等,2021. 渤海钻孔物源示踪和河流沉积物扩散 研究:碎屑锆石 U-Pb 年龄和磷灰石原位地球化学元素双重约束 [J]. 地质力学学报,27(2):304-316.
- 马正, 1982.应用自然电位测井曲线解释沉积环境[J].石油与天然 气地质, 3(1): 25-40.
- 秦帮策,方维萱,张建国,等,2021. 汾河裂谷晋中盆地内第四纪沉积 序列与沉积环境恢复[J]. 地质力学学报,27(6):1035-1050.
- 沈吉,张恩楼,夏威岚,2001.青海湖近千年来气候环境变化的湖泊

沉积记录[J]. 第四纪研究, 21(6): 508-513.

- 宋璠,侯加根,张震,等,2009.利用测井曲线研究陆相湖泊沉积微相[J].测井技术,33(6):589-592.
- 天津市地质调查研究院,河北省地质调查院,2005.1:25万天津市幅 区域地质调查报告 [R].
- 王金荣,刘洪涛,2004.测井沉积微相识别方法及应用[J].大庆石油 学院学报,28(4):18-20.
- 王乃昂,李吉均,曹继秀,等,1999.青土湖近6000年来沉积气候记录 研究:兼论四五世纪气候回暖[J].地理科学,19(2):119-124.
- 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 等, 1981. 我国东部第四纪海侵地层的初步 研究[J]. 地质学报, 55(1): 1-13.
- 王强,田国强,1999.中国东部晚第四纪海侵的新构造背景[J].地质 力学学报,5(4):41-48.
- 王强,张玉发,袁桂邦,等,2008. MIS 3 阶段以来河北黄骅北部地区 海侵与气候期对比[J]. 第四纪研究,28(1):79-95.
- 王强,李从先,2009.中国东部沿海平原第四系层序类型[J].海洋地

质与第四纪地质, 29(4): 39-51.

- 吴忱, 1984. 河北平原的地面古河道[J]. 地理学报, 39(3): 268-276.
- 吴艳宏,李世杰,2004. 湖泊沉积物色度在短尺度古气候研究中的应 用[J]. 地球科学进展,19(5):789-792.
- 徐杰,马宗晋,陈国光,等,2005.根据周围山地第四纪地貌特征估计 渤海第四纪构造活动幕的发生时间[J].第四纪研究,25(6): 700-710.
- 徐丽, 苗运法, 方小敏, 等, 2009. 青藏高原东北部西宁盆地中始新世-渐新世沉积物颜色与气候变化 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 45(1): 12-19.
- 胥勤勉,袁桂邦,张金起,等,2011. 渤海湾沿岸晚第四纪地层划分及 地质意义[J]. 地质学报,85(8):1352-1367.
- 薛春汀,2016. 滦河冲积扇-三角洲的范围和类型及其演化[J]. 海洋 地质与第四纪地质,36(6):13-22.
- 赵琳琳, 胥勤勉, 杨吉龙, 等, 2016. 渤海湾北岸 BG10 孔晚新生代沉积环境演化过程[J]. 第四纪研究, 36(1): 196-207.