

文章编号: 1006-6616 (2016) 04-0868-14

# 河流沉积分析在浅覆盖第四纪填图中的应用 ——以内蒙古河套地区 1:50000 填图试点为例

刘晓彤<sup>1,2</sup>, 张绪教<sup>1</sup>, 叶培盛<sup>2</sup>, 贾丽云<sup>2</sup>, 蔡茂堂<sup>2</sup>,  
何泽新<sup>1</sup>, 李成路<sup>1,2</sup>, 吴泽群<sup>1,2</sup>, 周青硕<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 随着国家大比例尺地质调查 (1:50000) 向特殊地质地貌区的开展, 已有第四纪填图方法已不能满足覆盖区填图的实际需求, 地质工作者面临着第四纪大比例尺填图“填什么、如何填”的问题。选取典型覆盖区——河套平原为研究区, 以河流沉积理论为指导, 通过钻孔揭露方法, 建立了全新世以来的河流沉积体系, 并以此作为区域地质图骨架, 提出了河道亚相、堤坝亚相、泛滥平原亚相的填图单元, 应用“逐步逼近原则”确定地质界线, 划分出区内三期河道及其相应的沉积体系, 解决了覆盖区第四纪地质调查中填图单元稀少, 地质图表达单调的问题, 为覆盖区第四纪地质调查提供了一套可行方案。

**关键词:** 覆盖区; 填图方法; 河流系统; 沉积相分析; 河套平原

**中图分类号:** P512.31; P546

**文献标识码:** A

## 0 引言

第四系与地质灾害防治、农业生产、工业建设息息相关, 需通过各种技术方法手段, 推进第四系地质调查进程, 解决第四纪沉积结构、地层、环境演化, 并恢复新构造与活动构造过程, 加大人类活动区域内地质研究的时空范围与质量, 从而为经济建设提供可靠基础地质资料<sup>[1]</sup>。晚新生代以来, 尤其是第四系地质调查是我国大比例尺地质填图的薄弱环节<sup>[2]</sup>。大比例尺地形图和高分辨率遥感图是传统地质调查中的2个重要依据<sup>[3]</sup>, 但对于第四纪沉积物覆盖厚度大且均匀的平原区却不能发挥其传统优势。覆盖区地质图对表层地质体的表达满足不了人们对地下或沉积层物质结构、沉积时代和沉积岩层形态的了解需求<sup>[4]</sup>。因此, 推动覆盖区大比例尺 (1:50000) 和高精度地质填图工作迫切需要新的理论和方法, 以指导第四纪填图工作“填什么、怎么填”的问题。

**收稿日期:** 2016-09-15

**基金项目:** 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060); 中国地质调查局项目“内蒙古1:5万呼勒斯太苏木(K48E017024)等四幅填图试点”(12120114042101)

**作者简介:** 刘晓彤 (1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事覆盖区第四纪地质调查。E-mail: 13120366829@163.com

**通讯作者:** 张绪教 (1964-), 男, 博士, 副教授, 主要从事第四纪地质、新构造运动的教学及科研工作。E-mail: zhangxj@cugb.edu.cn

全国第四纪地质调查工作以河谷区及东部沿海居多。沿海经济区以辅助经济发展为目的,强调立体填图,调查内容涵盖第四纪松散覆盖层的三维地质特征及活动断裂<sup>[5]</sup>。西北部地区由于经济发展对第四纪填图工作的需求还不迫切,填图进展不明显<sup>[6]</sup>,主要着眼于地貌特征和成因类型以及沉积物形态等方面。盆地区借助沉积特征识别,完成岩石地层单位的确定和成因环境的判断,探讨沉积盆地演化,建立盆地地层格架<sup>[7]</sup>。但上述调查精度难以满足大比例尺第四纪地质填图要求,调查方法局限于剖面观察,平原地区较难实现。针对此情况,越来越多地质工作者通过钻孔揭露获取填图信息,并将钻孔柱状图作为组成元素在地质图上表达,丰富了地质图信息,也为三维表达提供了良好素材<sup>[8-10]</sup>。但因主导理论并未突破,这些地质资料只是增添了佐证材料而已。

河流沉积研究多集中在河流类型辨别、沉积相划分及沉积模式的确立和转换等方面,以大型剖面或钻孔岩芯分析为手段,用于古环境恢复、层序地层分析等。地质历史时期的河流沉积对油气勘探提供理论指导,但现代河流沉积分析较少与实际生产相联系,存在理论和生产脱节现象<sup>[11-20]</sup>。

随着国家“一带一路”建设的需求,在西北地区开展第四纪填图已成为必须先期部署的工作。中国地质调查局设立了“特殊地区地质填图工程”。基于此“工程”的支撑,针对上述河流沉积和第四纪填图中的不足,结合国家经济建设的需要,笔者所在团队通过大量野外实际调查,结合河流沉积理论,从河流沉积体系分析及古河道期次划分两方面入手,确定河道亚相、堤坝亚相和洪泛平原亚相,将成因和时代组合作为创新填图单元,完成研究区第四纪填图工作,丰富了覆盖区填图单元,增加了地质图承载信息,提高了表达精度。同时该方法的实施为探索适合于特殊地质地貌区地质特征的填图方法提供了新的思维导向。

## 1 区域概况

研究区范围为东经 107°45′—108°00′,北纬 40°50′—41°10′(见图1),行政区划隶属于内蒙古巴彦淖尔市界内,紧邻五原县;地质地貌上处于河套盆地的西段,北部紧邻阴山构造带的色尔腾山,南部衔接鄂尔多斯盆地北缘的库布其沙漠,现代黄河从中南部穿过,形成大面积冲积平原;河道两侧的河漫滩宽窄不一,一般在 150~5000 m,高出黄河水面 0.5~1.0 m;河漫滩外侧为黄河阶地,个别地方尚可见到二级阶地。区域整体以大陆性气候为主,冬季寒冷漫长,风沙严重;夏季炎热短促,降水集中<sup>[21-22]</sup>。

研究区构造上属于河套裂谷盆地,第四纪以来,盆地北缘活动断裂在前期基础上继承性发展,盆地不断沉降,沉降中心位于临河凹陷,沉积厚度可达 2400 m<sup>[21,24-26]</sup>。沉积物类型以河流冲积物为主,部分可见风成沙丘覆盖其上。沉积物为细砂,粉砂和黏土以及粉砂和黏土交叉部分,自北向南粗细相间变化,较大比例的粗粒物质多出现于黄河古道,以砂级沉积物为主,古河道之间为粉砂和黏土沉积。由于河流牵引流的沉积分选作用,沉积物粒度自西向东逐渐变细,垂相上黏土夹层多次出现<sup>[21]</sup>。

## 2 河流沉积体系理论选择

河流体系是陆相沉积系统的重要组成部分,也是第四纪环境中普遍且重要的沉积模式。现代黄河作为研究区内最大的水系,组成了区域内沉积活动主要承载对象,形成地表广布的

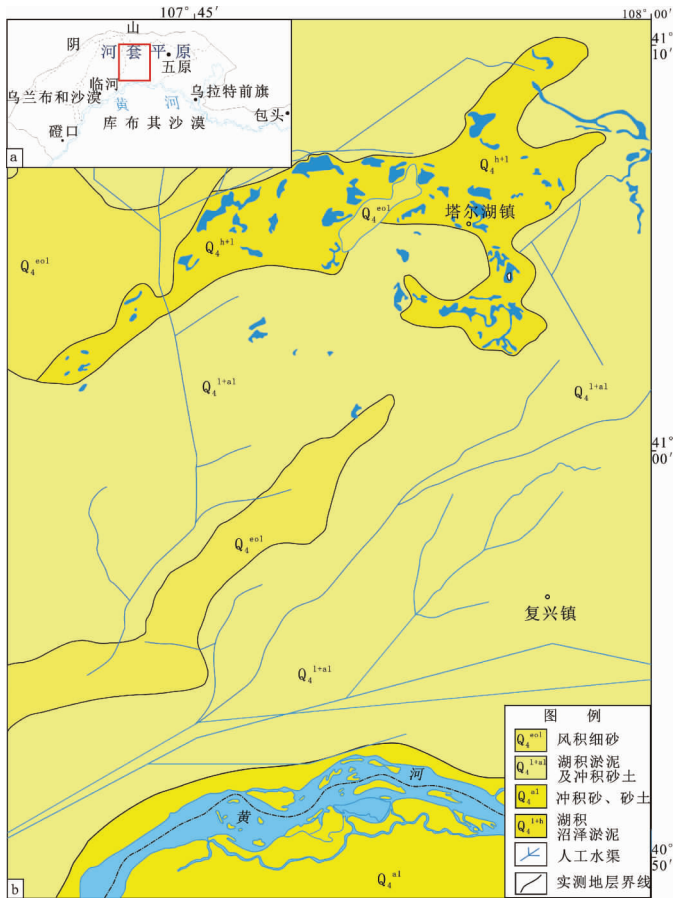


图1 研究区地质图 (a 修改自 [23]; b 修改自临河县幅 1:200000 地质图)

Fig. 1 Geological map of study area

冲积物,影响上更新统和全新统沉积厚度和岩性变化<sup>[27]</sup>。因此,河流沉积体系分析是该区第四纪地层调查的重要理论。

根据“将今论古”的原则,对现代黄河沉积体系的研究,可以推测古黄河大致的沉积演变过程。地貌学者认为,河套段黄河属于水动力较强的辫状河,或者是辫状河向曲流河过渡的形态<sup>[11,28]</sup>。但研究区地势平坦、空间辽阔,具有发育曲流河的地质地貌条件。水利枢纽的建立,使得水动力进一步减弱,堤坝系统稳定,洪泛几率降低。结合遥感影像解读认为该段黄河虽不具有典型曲流河形态,但是整体轮廓符合曲流河特征。因此,研究区主体沉积模式为曲流河模式,但不排除部分地方存在辫状河的特征。

基于对现代河流沉积体系的研究认为河流主体(不区分河流类型)由河道和河漫滩组成(见图2),河道中主要单元包括河床、边滩,河漫滩包括天然堤、决口扇、河漫平原(泛滥平原)<sup>[29]</sup>。

### 3 河流沉积分析在第四纪填图中的应用

路线地质调查作为地质调查的基本手段,贯穿于填图过程,实际资料收集过程中遵循野外地质调查工作原则,采用槽型钻、冲击钻获取所需沉积物及沉积序列,判断沉积相和相组

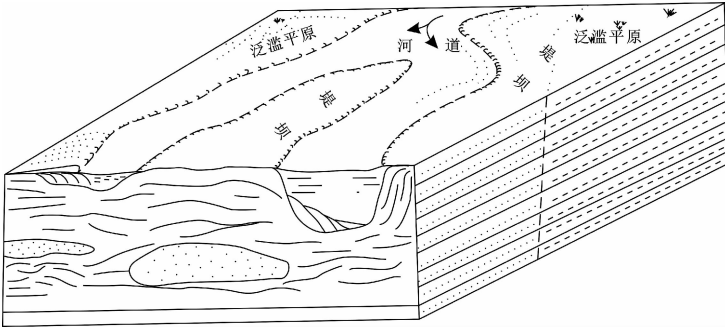


图2 研究区河流沉积模式

Fig. 2 Depositional model of rivers in study area

合类型, 确认填图单元并划分地质界线, 综合分析各个因素后, 完成地质图的绘制。

3.1 工作方法

为了保证填图工作精确度及工作质量, 将 1:50000 图幅分成 4 幅 1:25000 分幅, 每个分幅各自完成填图工作, 最终汇总。经过对河流沉积理论的学习及当地地质资料的搜集和整理, 以及前期野外踏勘, 遵循垂向切割地质体的原则, 制定垂直于河流流向, 即南北向展布的野外地质调查路线, 保证对古河道的控制。每个地质点除做好基本地质信息记录外, 重点施工一个 2~3 m 槽型钻, 获取沉积物组合。对比标准沉积相表现特征, 确定槽型钻所代表的一定范围内沉积相, 应用“逐步逼近原则”确定地质界线, 最终完成填图工作。具体工作流程见图 3。

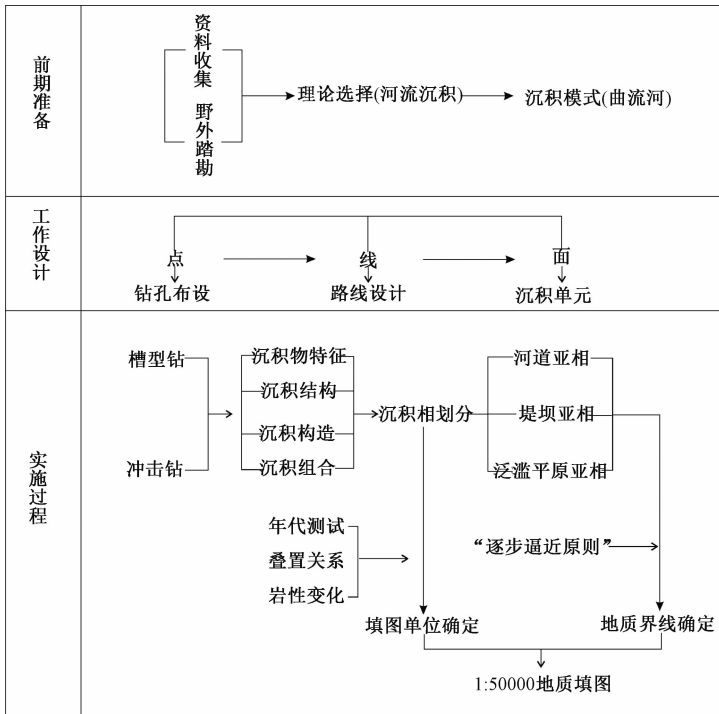


图3 工作流程图

Fig. 3 Technology roadmap

### 3.2 年代范围

填图单位中时代的确定通过4部分综合判定,包括:绝对年代测定、地层叠覆关系、钻孔岩相变化和邻区第四纪地层资料对比<sup>[30-31]</sup>。年龄样品采集自内蒙古1:50000呼勒斯太苏木等四幅中复兴图幅(K48F37048)典型冲击钻钻孔(编号ZK461A)(见图4),该钻孔岩性变化明显,河流相沉积典型。于地表1.5m处黏土层采集灰黑色<sup>14</sup>C样品约50g,装于清洁自封袋中,及时送于BATE<sup>14</sup>C测年实验室。经测定其年龄结果为距今 $3.920 \pm 0.03$  ka。同时结合钻孔柱岩性变化及当地地质条件认为槽型钻揭露的沉积物(2~3m)年代为全新世晚期,距今4ka左右;冲击钻揭露沉积物(6~10m)年代为全新世中期或早期。因此,以复兴图幅为代表所做研究范围大致是全新世中期或早期以来。

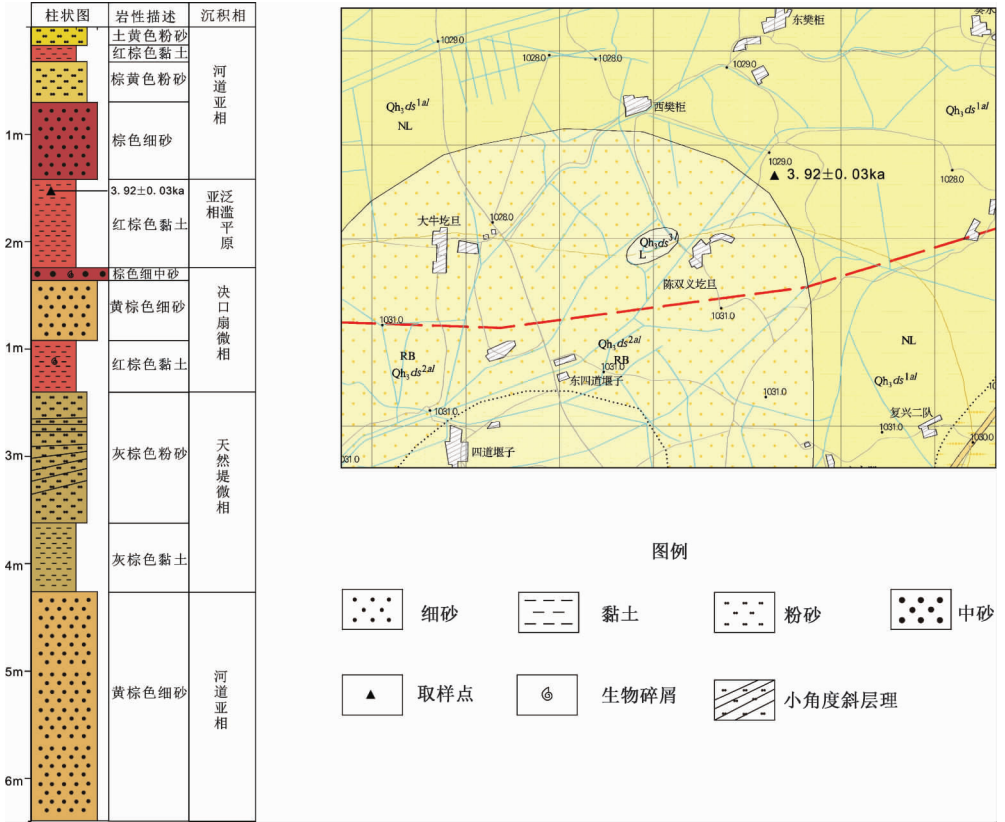


图4 取样位置及钻孔柱状图

Fig. 4 The position of sample and stratigraphic column of drill

### 3.3 基本沉积单元判断

工作中将河道亚相作为研究区河流沉积体系的骨架相,考虑到工作深度及地质情况,认为河道滞留沉积埋藏较深,浅层揭露难以触及。所以在实际工作中并未单独表达,而是与边滩亚相一起划分为河道亚相,以出现较厚中细砂或细砂沉积为代表特征。其他沉积亚相的沉积特征同样受实际条件所限而进行微调,在实际工作中需要综合判断。本着忠实于野外实际材料的原则,参考曲河流沉积亚相普遍特征确定不同时期的3类河流沉积亚相分别为河道亚相、堤坝亚相、泛滥平原亚相(见表1)。

河道亚相最易判断,为河流沉积主体,沉积物以中砂、细砂、细粉砂为主,沉积构造丰

表 1 主要填图单元特征

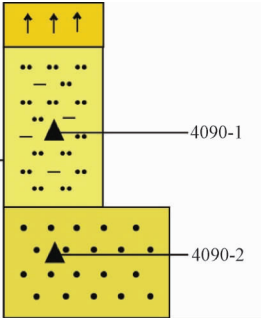
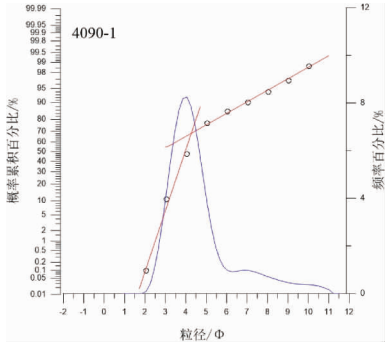
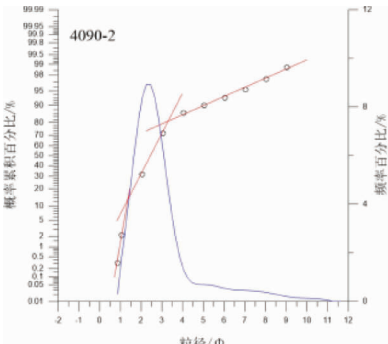
Table 1 Characteristics of main mapping units

填图单元 (沉积亚相)	主要沉积物	沉积特点	地表形态	沉积物粒度特征
河道亚相	中砂、细砂、粉细砂	沉积厚层砂体	整体为长条状	三段式及两段式跳跃及悬浮组分为主
堤坝亚相	粉砂、黏土	粉砂黏土互层或厚层粉砂, 斜层理	伴随河道, 并沿河道方向延伸	三段式及两段式跳跃及悬浮组分组, 悬浮组分为主
泛滥平原亚相	黏土, 粉砂质黏土	红棕色厚层黏土沉积	无规则分布, 常被其他沉积相切割掩埋	两段式为主悬浮组分占优势

富。概率累计曲线以跳跃组分为主, 悬浮组分次之<sup>[15]</sup>。实际工作中根据钻孔下部出现较厚的细砂层, 首先定其为河道亚相 (见表 2)。

表 2 河道亚相沉积特征

Table 2 Sedimentary characteristics of channel subfacies

典型沉积相 (点 4090) 分层描述	沉积组合 (▲代表取样位置) 及粒度曲线
①层为耕作土	
沉积组合特征: 较厚细砂层“二元结构”	
②29 ~ 130 cm, 灰黄色黏土质粉砂	
③131 ~ 200 cm, 灰棕色细砂	

分析: 概率累计曲线得到样品为两段式和三段式, 跳跃组分和悬浮组分占优势; 频率曲线得到分层沉积物来源均一, 中值粒径分别为 50 μm、157 μm; 平均粒径分别为 52 μm、166 μm, 沉积物相对较粗, 整体呈现上细下粗的“二元结构”, 较厚细砂的出现, 成为河道亚相标志层。

河道边缘为堤坝亚相，可细分为天然堤微相和决口扇微相。在河流两岸发育不同，表面向泛滥平原小角度倾斜，横剖面为楔形。沉积物以粉砂为主，由河床向远处沉积物粒度减小为黏土，颜色可呈氧化色。垂向上以粉砂和黏土互层为主要特征<sup>[13]</sup>。沉积构造为小型交错层理及水平层理。实际工作中根据黏土与粉砂交互出现或者以较粗粉砂为主的沉积组合判定为堤坝亚相（见表3）；由于水动力较弱，在钻孔层位中可见水平层理及小角度斜层理（见图5）。

表3 堤坝亚相沉积特征

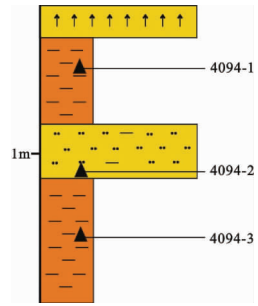
Table 3 Sedimentary characteristics of embankment subfacies

典型沉积相（点4094）分层描述

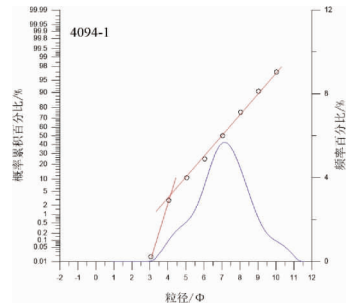
沉积组合（▲代表取样位置）及粒度曲线

①层：耕作土

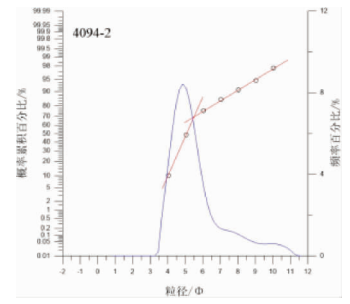
沉积组合特征：粉砂黏土互层



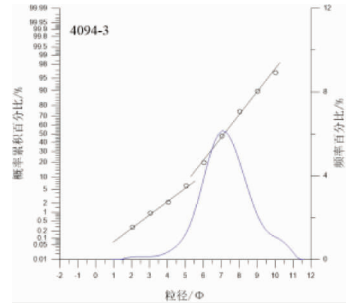
②层：22 ~ 80 cm，红棕色黏土



③层：80 ~ 117 cm，棕黄色黏土质粉砂



④层：117 ~ 200 cm，红棕色黏土，质地均匀，可塑性较强



分析：概率累计曲线得到样品均为两段式，以跃移和悬移为主，悬移组分比例较大，形成水动力较弱。频率曲线得到分层沉积物来源一致，中值粒径分别为7 μm、26 μm、6 μm；平均粒径分别为9 μm、26 μm、8 μm。



图5 水平层理及斜层理

Fig. 5 Horizontal and oblique beddings

泛滥平原(泛滥盆地)亚相位于冲积平原低洼处, 远离河道, 沉积物以黏土为主, 或呈薄层夹在河床沉积中。河道稳定时可长时间接受沉积并积累很厚。部分泛滥平原中存在动植物碎屑<sup>[15]</sup>, 由于长期暴露, 沉积物多呈红棕色或棕红色等氧化色。湿润气候条件下有机质含量高<sup>[29]</sup>。钻孔中沉积物以黏土为主, 且结构紧密, 颜色呈红棕色等氧化色, 具微小水平层理, 植物扰动较强, 则判定为泛滥平原(泛滥盆地)亚相(见表4)。

在初步确定沉积亚相的基础上, 每个典型沉积单元范围内施工至少1个5~10 m冲击钻, 以进一步确定沉积相, 并得到该区域垂向上的沉积序列。复兴图幅共施工6个冲击钻, 深度为4~9 m不等。垂相沉积变化基本与水平沉积相变化相对应。

### 3.4 地质界线确定

地质界线的确定是地质填图的关键环节, 平原区由于受人工改造, 地表植被覆盖, 地质界线难以观察, 所以研究区地质界线的确定需要另辟蹊径。槽型钻技术具有效率高、效果好<sup>[33]</sup>、结实耐用、易于操作、机动性强、保护环境等突出特点, 成为浅层揭露的首选。对施工的槽型钻岩芯做详细的观察和描述, 判断不同沉积相。经过大量野外地质调查工作, 在槽型钻施工和沉积相确定的基础上, 提出以“逐步逼近原则”确定界线, 其简要原理见图6。

首先根据不同的槽型钻钻孔沉积物组合确定不同沉积相, 在确定沉积相的2个点之间再施工第三个, 经过判断其所代表的沉积相后对比之前确定的2个沉积相, 然后在不同沉积相的2个槽型钻之间再进行第四个槽型钻的施工, 依此来缩小沉积相界线的范围, 达到逐步逼近地质界线的目的, 在各种条件允许的情况下可以尽可能地提高地质界线位置的精确度。

## 4 填图成果

根据以上方法配合数字填图系统, 完成了研究区2幅1:50000地质草图(见图7, 图8)。图中共体现出2期古河道, 分别为塔尔湖图幅中部古河道和复兴图幅西北部古河道。



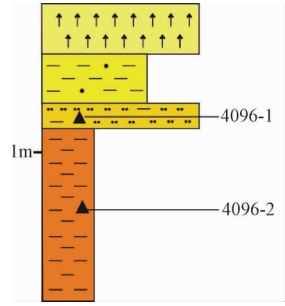
表 4 泛滥平原亚相沉积特征

Table 4 Depositional feature of flood plain

典型沉积相 (点 4096) 分层描述

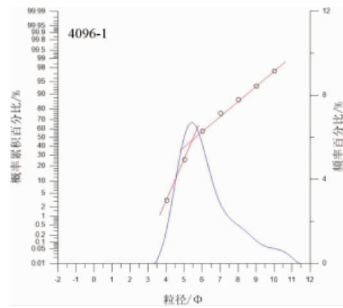
沉积组合 (▲代表取样位置) 及粒度曲线

- ①层: 耕作土
- ②层: 34 ~ 67 cm, 黄棕色含粉砂黏土

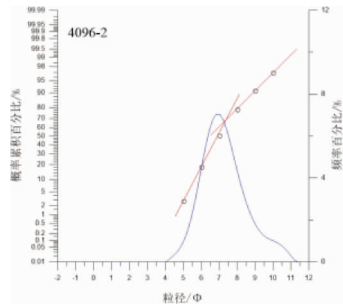


沉积组合特征: 棕红色黏土为主

- ③层: 67 ~ 84 cm, 棕黄色黏土质粉砂



- ④层: 84 ~ 200 cm, 棕红色黏土



分析: 概率累计曲线得到样品均为两段式, 以悬浮组占优势。频率曲线得到分层沉积物来源一致, 中值粒径分别为 16 μm、7 μm; 平均粒径分别为 17 μm、8 μm, 沉积物整体较细, 以较厚棕红色黏土层为标志层, 氧化色明显。

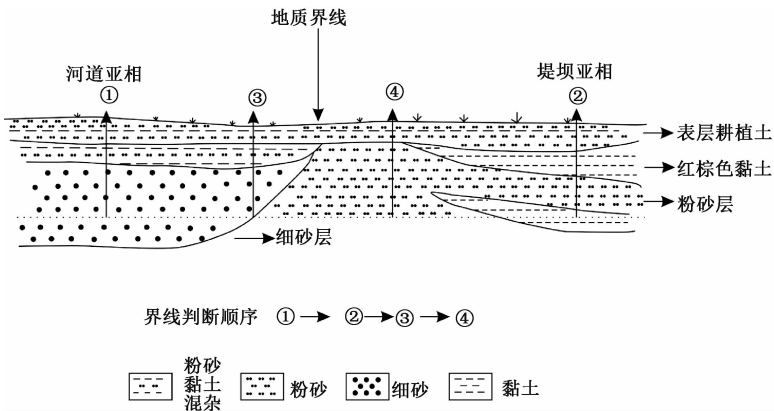


图 6 “逐步逼近原则”示意图

Fig. 6 Sketch map of “principle of step by step approximation”

根据冲击钻钻孔信息认为塔尔湖古河道埋藏深度约为 5 m, 贯穿图幅东西, 走向为近东西向, 南北涉及范围约 8 km。河道呈现碎片化, 被天然堤分割, 但整体轮廓清晰可见, 并与遥感解译和文献记载的古河道大致趋势较为符合。古河道周围不规则地分布着堤坝亚相和泛滥平原亚相, 为组成完整的一套河流系统。泛滥平原亚相向南部延伸到复兴图幅, 被较新河流系统覆盖或者切割。地表存有较多的小型湖泊、积水洼地以及风成沙丘, 大致沿古河道范围分布, 疑似为古河道存在的证据 (见图 7)。

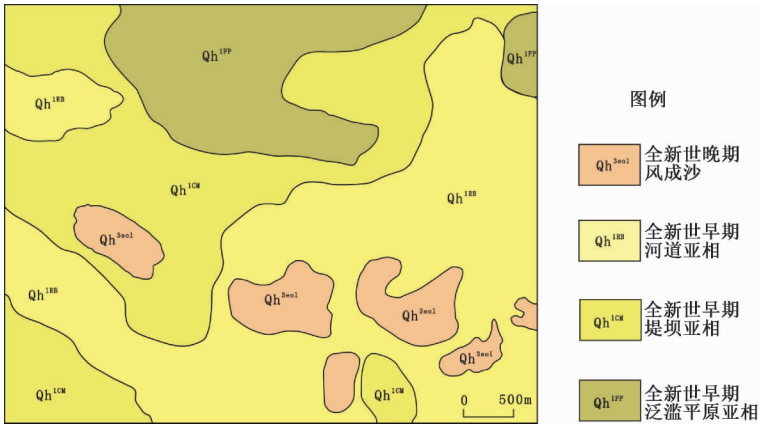


图 7 塔尔湖成果草图部分展示

Fig. 7 Part of geological sketch in Taer lake area

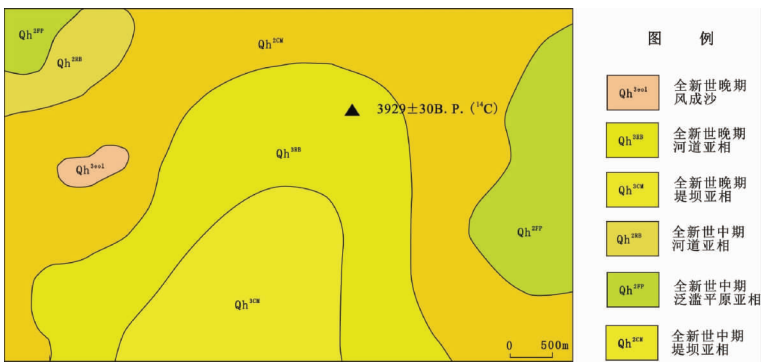


图 8 复兴地质图草图部分展示

Fig. 8 Part of geological sketch in Fuxing area

复兴图幅西北部古河道向东部延伸并闭合, 范围较小, 埋藏较浅, 垂向厚度较薄, 推测为塔尔湖古河道支流。南部现代黄河浅埋岔道, 埋藏 2 ~ 3 m。岔道向北延伸切割塔尔湖古河道体系的泛滥平原及堤坝, 现代黄河的堤坝和泛滥平原则覆盖于其上 (见图 8)。

## 5 河流沉积体系分析方法在第四纪填图中应用的适用性

此次工作充分考虑到研究区特殊地质条件, 针对地表扰动层的问题采用槽型钻作为工程揭露的主要手段, 操作简单且携带方便, 基本不受地表条件的限制。根据观察到的沉积相组合, 判断沉积单元。整个过程用时短、效率高、经济性强。在此基础上, 有选择地应用冲击

钻得到垂相沉积特征,进一步判断接触关系并识别较深古河道。此工作方法由浅入深,由表及里地得到研究区全新世沉积地层,高效且可靠。研究区地质图中展现的不同期次古河道,在作为填图元素基础上,更被赋予了具体的科学意义。古河道的研究,对于黄河迁移和演变提供了最直接的证据。

将河流沉积系统理论应用到冲积平原区第四纪地质填图,打破了以往以岩性、成因为研究内容的束缚,为特殊地貌区地质调查工作提供了一个新思路。时代、成因和沉积相组合作为特殊填图单元的表达方式,在成因地层划分的基础上细化全新世地层,提高填图工作的精度和广度,缓解了地质图件编辑过程中出现的填图单元稀少、图件表达单调的问题。对于大面积以冲积平原为主,受人工改造强烈且施工条件良好的第四系覆盖区,如华北平原、东北平原以及长江中下游平原,本文所介绍的方法不失为一个好的尝试。

## 6 结论

应用不同深度钻孔揭露的方法分析该地区沉积特征、沉积组合,识别出不同时代的3种沉积亚相,分别为河道充填亚相、堤坝亚相和泛滥平原亚相,并建立了全新世以来三期河流沉积体系。

应用曲流河沉积模式分析作为主体理论指导,根据不同沉积相确定填图单元,采用逐步逼近的原则确定地质界线,在成因分析的基础上叠加沉积相的表达,增加了大比例尺第四纪填图精度,改善了第四纪地质图件单一的问题,为相似地质条件区域的第四纪地质调查提供了一套可行的工作方法。

## 7 不足与注意问题

创新方法尝试的过程中不免会有诸多问题出现,需要在多次实践中逐步改进和完善。对于基本槽型钻地点的选择须慎重,结合各方面综合判断,避免在人工堆砌物上施工。槽型钻深度不易把握,原则上越深越好,但受人力及施工条件的限制,可根据实际情况决定,但不能少于2 m。“逐步逼近原则”要求槽型钻的数量较多,完美实现恐工作量太大,要根据要求的精确度来控制。由于初成地质图件仍处于讨论阶段,文中重点介绍方法和思想,最终成果图还需要经过多方面协商与修改。

**致谢** 傅连珍、管育春、李杰、梁莹、叶梦旒、盛余应、王灿、王振、杨星辰、张昱、张继开、周维参与了野外工作,田婷婷在本文写作过程中给予帮助,在此表示感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 浅覆盖区区域地质调查工作细则(1:50000) DZ/T 0158-95 [S].  
Regional geological survey of shallow coverage area (1:50000) DZ/T 0158-95 [S].
- [2] 胡道功. 探索适合我国地质特点的地质填图新方法 [N]. 中国国土资源报, 2014-07-24005.  
HU Dao-gong. Explore new method of geological mapping for geological characteristics in China [N]. China land and Resources News, 2014-07-24005.
- [3] 赵希涛, 胡道功, 吴中海. 晚新生代地质填图理论与方法的新探索 [J]. 地质通报, 2009, 28 (10): 1419~1429.

- ZHAO Xi-tao, HU Dao-gong, WU Zhong-hai. An exploration to the theory and methodology of Late Cenozoic geological mapping [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28 (10): 1419 ~ 1429.
- [ 4 ] 王保良. 覆盖区的岩性组合(岩相组合)填图法 [J]. *地质通报*, 2002, 21 (12): 890.  
WANG Bao-liang. Coverage area lithologic (lithofacies) mapping method [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21 (12): 890.
- [ 5 ] 周宗尧, 董学发, 余国春, 等. 浅覆盖城市经济区立体填图最新进展——浙江1: 5万鸣鹤镇、澉浦镇、慈城镇、鄞江镇、姜山镇幅区调项目成果 [J]. *资源调查与环境*, 2013, 34 (4): 211 ~ 215.  
ZHOU Zong-rao, DONG Xue-fa, YU Guo-chun, et al. New progresses of stereoscopic geological mapping in shallow covered urban economic regions: A case study of the 1: 50000 scale regional geological survey of Minghe town, Xiepu town, Cicheng town, Yinjiang town and Jiangshan town sheets in Zhejiang Province [J]. *Resources Survey and Environment*, 2013, 34 (4): 211 ~ 215.
- [ 6 ] 周飞飞, 杨健. 现代地质填图, 走向特殊地质地貌区 [N]. *中国国土资源报*, 2016-01-26006.  
ZHOU Fei-fei, YANG Jian. Modern geological mapping, to the special geological features area [M]. *China Land and Resources Reported*, 2016-01-26006.
- [ 7 ] 张晔卿, 谷永昌. 成因地层分析方法在陆相盆地填图中的应用——以冀北滦平陆相火山—沉积盆地为例 [J]. *华北地质矿产杂志*, 1999, (2): 288 ~ 294.  
ZHANG Ye-qin, GU Yong-chang. The application of method about genetic analysis in continental basin mapping: Using continental volcanic-sedimentary basin in Luanping [J]. *NORTH magazine Geology and Mineral Resources*, 1999, (2): 288 ~ 294.
- [ 8 ] 郭盛乔, 张祥云, 葛云, 等. 1:25万区调中第四系深覆盖区野外工作方法研究——以淮安市幅为例 [J]. *地质学刊*, 2013, 37 (4): 509 ~ 514.  
GUO Sheng-qiao, ZHANG Xiang-yun, GE Yun, et al. Study of field investigation method for 1: 250000 scale regional geological survey in quaternary deep overburden area: A case study of Huaian City [J]. *Journal of Geology*, 2013, 37 (4): 509 ~ 514.
- [ 9 ] 王涛, 计文化, 胡健民, 等. 专题地质填图及有关问题讨论 [J]. *地质通报*, 2016, 35 (5): 633 ~ 641.  
WANG Tao, JI Wen-hua, HU Jian-min, et al. Geological mapping for special issues and a discussion on related topics [J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35 (5): 633 ~ 641.
- [ 10 ] 吕鹏, 张炜, 刘国, 等. 国外重要地质调查机构三维地质填图工作进展 [J]. *国土资源情报*, 2013, (3): 13 ~ 18.  
LÜ Peng, ZHANG Wei, LIU Guo, et al. Geological survey agencies dimensional geological mapping important progress abroad [J]. *Land and Resources Information*, 2013, (3): 13 ~ 18.
- [ 11 ] 王随继, 任明达. 根据河道形态和沉积物特征的河流新分类. *沉积学报*, 1999, 17 (2): 240 ~ 246.  
WANG Sui-ji, RENG Ming-da. A New classification of fluvial rivers according to channel planform and sediment characteristics [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (2): 240 ~ 246.
- [ 12 ] 王随继, 倪晋仁, 王光谦. 河流沉积学研究进展及发展趋势 [J]. *应用基础与工程科学学报*, 2000, (4): 362 ~ 369.  
WANG Sui-ji, NI Jing-ren, WANG Guang-qian. The evolution and direction of research in fluvial sedimentology [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2000, (4): 362 ~ 369.
- [ 13 ] 谢庆宾, 朱筱敏, 管守锐等. 中国现代网状河流沉积特征和沉积模式 [J]. *沉积学报*, 2003, 21 (2): 219 ~ 227.  
XIE Qing-bin, ZHU Xiao-min, GUAN Shou-ru, et al. Depositional characteristics and models of the modern anastomosing river in China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21 (2): 219 ~ 227.
- [ 14 ] 廖保方, 张为民, 李列等. 辫状河现代沉积研究与相模式——中国永定河剖析 [J]. *沉积学报*, 1998, 16 (1): 34 ~ 39.  
LIAO Bao-fang, ZHANG Wei-min, LI Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and facies model: Taking the Yongding River as an example [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16 (1): 34 ~ 39.
- [ 15 ] 郭峰, 郭岭, 姜在兴等. 潮白河现代沉积特征与沉积模式 [J]. *大庆石油学院学报*, 2010, 34 (2): 7 ~ 10.

- Guo Feng, Guo Ling, Jiang Zai-xing, et al. Sedimentary characteristics and depositional model of modern Chaobai River [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2010, 34 (2): 7~10.
- [16] 何乃华, 朱宣清. 河北平原曲流河现代沉积模式 [J]. *地理研究*, 1991, 10 (1): 65~72.  
HE Nai-hua, ZHU Xuan-qing. Present depositional feature and depositional model of meandering Streams in Hebei Plain [J]. *Geographical Research*, 1991, 10 (1): 65~72.
- [17] 常文会, 赵永刚, 卢松. 曲流河环境沉积微相和测井相特征分析 [J]. *天然气工业*, 2010, 30 (2): 48~51.  
CHANG Wen-hui, ZHAO Yong-gang, LU Song. Features of sedimentary microfacies and electrofacies of meandering river deposits [J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30 (2): 48~51.
- [18] 郭岭, 贾超超, 朱毓, 等. 现代渭河西安段沉积体沉积相与岩相特征 [J]. *沉积学报*, 2015, 33 (3): 543~550.  
GUO Ling, JIA Chao-chao, ZHU Yu, et al. Characteristics of sedimentary facies and lithofacies of modern Weihe river in Xi'an [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33 (3): 543~550.
- [19] 谭程鹏, 于兴河, 李胜利, 等. 辫状河—曲流河转换模式探讨——以准噶尔盆地南缘头屯河组露头为例 [J]. *沉积学报*, 2014, 32 (3): 450~458.  
TAN Cheng-peng, YU Xing-he, LI Sheng-li, et al. Discussion on the model of braided river transform to meandering river: An example of Toutunhe Formation in southern Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32 (3): 450~458.
- [20] 时志强, 韩永林, 赵俊兴, 等. 鄂尔多斯盆地中南部中侏罗世延安期沉积体系及岩相古地理演化 [J]. *地球学报*, 2003, 24 (1): 49~54.  
SHI Zhi-qiang, HAN Yong-lin, ZHAO Jun-xing, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Middle Jurassic Yan'an Stage in the central and southern Ordos Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2003, 24 (1): 49~54.
- [21] 巴彦淖尔盟志编纂委员会. 巴彦淖尔盟志 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1997: 167~170, 438~440.  
Bayannaoer Chi Compilation Committee. Bayannaoer Chi [M]. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House. 1997: 167~170, 438~440.
- [22] Jia L, Zhang X, He Z, et al. Late Quaternary climatic and tectonic mechanisms driving river terrace development in an area of mountain uplift: A case study in the Langshan area, Inner Mongolia, northern China [J]. *Geomorphology*, 2015, 234: 109~121.
- [23] 张翼龙, 曹文庚, 于娟, 等. 河套地区典型剖面地下水砷分布及地址环境特征研究 [J]. *干旱区资料与环境*, 2010, 24 (12): 167~171.  
ZHANG Yi-long, CAO Wen-geng, YU Juan, et al. The geological environment characteristics and distribution of groundwater arsenic in the typical section of Hetao Plain [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24 (12): 167~171.
- [24] 江娃利. 内蒙狼山—色尔腾山山前活动断裂古地震事件识别及同震垂直位移 [J]. *地壳构造与地壳应力文集*, 2002, 15: 42~51.  
JIANG Wa-li. Paleo-earthquake event and co-seismic vertical deformation recognition along the Langshan-Sertenshan pediment fault, Inner Mongolia [J]. *Collection of Crustal Tectonics and Crustal Stress*, 2002, 15: 45~52.
- [25] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组, 鄂尔多斯周缘活动断裂系, 地震出版社, 1988, 39~44.  
The research group on "active fault system around Ordos massif", State Seismological Bureau. Active fault system around Ordos massif [M]. Beijing: Seismological Press, 1988: 39~44.
- [26] Jia L, Zhang X, Ye P, et al. Development of the alluvial and lacustrine terraces on the northern margin of the Hetao Basin, Inner Mongolia, China: Implications for the evolution of the Yellow River in the Hetao area since the late Pleistocene [J]. *Geomorphology*, 2016, 263: 87~98.
- [27] 张小瑾. 河套地区(内蒙古磴口)晚冰期以来古气候演化初步研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2011.  
ZHANG Xiao-jin. Preliminary study of paleoclimate changes in Hetao area since late glacial: A case study in Dengkou County of Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2011.
- [28] 王随继. 黄河流域河型转化现象初探 [J]. *地理科学进展*, 2008, 27 (2): 10~17.  
WANG Sui-ji. Analysis of river pattern transformations in the Yellow River basin [J]. *Progress in Geography*, 2008, 27

(2): 10 ~ 17.

- [29] 陈建强, 周洪瑞, 王训练. 沉积学及古地理学教程 (第二版) [M]. 北京: 地质出版社, 2015: 97 ~ 107.  
CHENG Jian-qiang, ZHOU Hong-ru, WANG Xun-lian. Sedimentology and Palaeogeography (2<sup>nd</sup> edition) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 97 ~ 107.
- [30] 邓金宪, 刘正宏, 徐仲元, 等. 包头地区晚更新世—全新世地层划分对比及环境变迁 [J]. 地层学杂志, 2007, 31 (2): 133 ~ 140.  
DENG Jin-xian, LIU Zheng-hong, XU Zhong-yuan, et al. Subdivision and correlation of the late Pleistocene-Holocene strata in the Baotou area and its paleoenvironment variation [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31 (2): 133 ~ 140.
- [31] 刘哲, 赵华, 王成敏等. 临河凹陷晚更新世以来沉积地层的光释光年龄 [J]. 干旱区地理, 2014, 03: 439 ~ 446.  
LIU Zhe, ZHAO Hua, WANG Cheng-min, et al. OSL ages of sedimentary layers in Linhe Depression since Late Pleistocene [J]. Arid Land Geography, 2014, 03: 439 ~ 446.
- [32] 王兆义. 槽型钻在浅覆盖区地质调查中的使用及其推广意义 [J]. 科技风, 2013, (6): 150.  
WANG Zhao-yi. Application and popularization significance of groove drill in geological survey of shallow cover area [J]. Technology Wind, 2013, (6): 150.

## APPLICATION OF FLUVIAL DEPOSITIONAL SYSTEM ANALYSIS DURING THE QUATERNARY GEOLOGICAL SURVEY IN THE SHALLOW COVERED AREA: A CASE STUDY OF 1: 50000 GEOLOGICAL MAPPING IN THE HETAO REGION OF INNER MONGOLIA

LIU Xiao-tong<sup>1</sup>, ZHANG Xu-jiao<sup>1</sup>, YE Pei-sheng<sup>2</sup>, JIA Li-yun<sup>2</sup>, CAI Mao-tang<sup>2</sup>,  
HE Ze-xin<sup>1</sup>, LI Cheng-lu<sup>1</sup>, WU Ze-qun<sup>1</sup>, ZHOU Qing-shuo<sup>1</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** With the conduction of the national large-scale (1: 50000) geological survey in special geological and geomorphic areas, traditional Quaternary mapping methods could not meet the needs of modern geological mapping in the coverage areas. Therefore, “What can we do” and “How can we do” become the key issues for the geological workers during the Quaternary geological mapping. In order to test even find some new geological mapping methods, we select typical coverage area-Hetao plain as our study area. Under the guidance of theories in fluvial sedimentology, combined with drilling column, we build the fluvial sedimentary system since the Holocene. Regard these subfacies as the sedimentary frame for the geological sketch frame, we recognize fluvial subfacies, embankments subfacies, and flood plain subfacies. The principle of step by step approximation was applied to determine the geological boundary. Besides that, three periods of fluvial deposits and corresponding sedimentary systems were recognized. Therefore, the problem of lacking geological units during the Quaternary geological survey in covered area might be solved, and a set of feasible scheme could be provided.

**Key words:** shallow covered area; mapping methods; fluvial system; sedimentary facies analysis; Hetao plain