DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.01.013

基于多源遥感数据的古河道识别方法
——以磴口地区古黄河河道为例

王 俊[1,2] 李家存[1,3] 张 迪[4]

(1.首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048; 2.首都师范大学城市环境过程与数字模拟国家重点实验室,北京 100048;
3.首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京 100048; 4.河南工程学院 土木工程学院,河南 郑州 451191)

摘 要

古河道是富集和储存地下水的天然空间,对于古河道的研究是重塑区域河流地貌演变历史的重要手段,对当地的生产生活具有重要作用.大部分古河道由于自然因素和人为因素影响,地表上无法精确确定其具体位置,而遥感与探地雷达技术可以快速获取地表及地下浅层不同地物的反射信息,可以精确服务于不同地物的识别. 本研究基于古河道解译标志,从 Google Earth 与 Spot7 影像上初步识别出古河道的位置后,结合研究区探地雷达图像,精确识别出古河道浅层结构. 研究结果表明结合遥感与探地雷达技术可以快速、精确的识别出古河道位置及浅层结构,为古河道研究提供方法参考.

关键词: Google Earth; Spot7; 探地雷达; 古河道; 遥感解译
中图分类号: P631.3

0 引 言

古河道是在自然因素(构造运动或气候变化)或人为因素(拦河筑坝、裁弯取直或人工开挖等)影响下的河道变化(河流袭夺或改道)过程中产生的废弃河道的形态物质体[1]. 废弃年代较近和山前陡崖下切侵蚀较深的古河道保存较好,从地表上很容易辨认出来;年代久远的一些古河道则由于各种地质作用及地貌演化被埋藏于地下,从地表很难确定其具体位置.对于古河道位置、形态及分布规律的研究,不仅可以为经济建设提供基础地理数据,而且可以重建古水文网,为地理环境演变提供重要的科学依据.

近年来,随着古河道在地质矿产[2-3]、农业[4]、生态环境[5]、地下水资源[6]等领域的应用,其研究方法也在逐渐创新:50~80年代采用航片图、遥感图判读,钻孔取芯以及室内分析、测试等方法;近些年来则出现了以地球物理勘探为代表的多种新技术,大大的提高了研究精度和深度.

传统识别古河道的方法,不仅耗费大量的物力人力,而且时间长、对地表环境有破坏.Google Earth 影像,空间分辨率最高可达 0.27 m,在实现细微地物的解译与判读方面优势突出,已被用来分析水系特征[7].Spot 影像在构造、矿物填图、土地利用监测以及水资源调查等方面具有重要作用,已被广泛用来进行地质填图与土地资源调查[8-9].探地雷达是利用高频电磁波来确定介质内部物质分布规律的一种地球物理方法,因其具有高分辨率、高效率以及无损探测等优点,已经广泛应用于环境工程、地球科学以及考古等领域[10-12].基于此,本次研究以两期 Google Earth 历史影像以及 Spot7 影像,结合研究区内探地雷达数据,探讨找出一种快速识别古河道遗迹的新方法.

1 区域概况

本文选择内蒙古巴彦淖尔市磴口县作为研究区,该地区西接乌兰布和沙漠,东为后套盆地,北面为狼山,南接库布其沙漠,地形南高北低,每 4~8 km 地表海拔平均下降 1 m,局部微有起伏[13].气候上冬季寒冷而漫长,夏季温暖而短促,春秋两季

收稿日期:2018-05-18

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

气温表现为骤升急降,大风与沙尘暴较多[14].该地区年均降水量在 150~200 mm,且呈现从东向西逐渐减少的特点.降水主要集中在 7 月下旬至 8 月上旬,占全年降水比重的 3/4[15].前人研究结果表明:黄河在上新世的雏形期已到达河套地区; 其后黄河及其较大的支流沿程存在众多的湖泊,形成了包括河套古湖在内的河湖并存期; 晚更新世至今,沿程的主要湖泊消失,形成了当今黄河的基本格局.而磴口地区黄河河道的形成发育可划分为 3 个阶段: 在 20 ka 之前,黄河河道以在磴口东侧发育为主,主要为辫状河; 在 20~5 ka,黄河在该地区全断面均有河流发育,表现为多河道的网状河型,并整体逐渐向西迁移; 5~2ka 以来,黄河主河道在磴口附近出现,河型为曲流河,但在狼山山前还发育有部分支流与小规模的湖泊[16].研究区在第四纪以来一直处于沉降状态,其沉积地层主要由河床亚相、河漫亚相、牛轭湖亚相、洪积扇相与沙漠相组成,黄河在这一区域表现为冲积性河流,河床一直处于加积状态,河道沉积物主要为细砂.总体而言,研究区内地势起伏较小,因此该段黄河河床表现为宽度较大,河道较浅.在洪水期,各支流连成一片汪洋,埋没沙洲; 平水或枯水期则沙洲出露于水面,且该段黄河河道摆动较大,因此造成古河床、牛轭湖等古河道遗迹的广泛发育.

2　研究方法

2.1　古河道遥感解译标志

水系变迁过程中的侵蚀和堆积作用,形成了特殊的微地貌结构,由于地物对太阳辐射波谱的吸收和反射存在差异,这些微地貌在遥感影像上反映出不同的色调特征.

一些古河道地下水位较高,在夏季植物生长较好,沿古河道断断续续地生长着一些低矮灌木或沙生植被,影像上往往形成深色条带; 而在冬季,水出露于地表结冰或者某些地区地表水褪去后地下水中的盐分随毛管水上升而聚集在土壤表层形成的盐碱地,在遥感影像上表现为亮色调. 如在 2007 年 8 月 2 日的 Google Earth 影像上,有大量连续呈带状展布的暗色调,表明此处地下水位高出露于地表且处于夏季,因此在地势较低处形成大量的洼地,且周围有大量植被覆盖(图 1a); 在 2010 年 10 月 16 日的 Google Earth 影像上,有大量的亮色调与深红色调错综排列,表明该处亮色调为地表水凝结成冰或者为盐碱地,深红色调为枯萎的植被(图 1b); 现场采集照片可见盐碱地和枯萎的芦苇荡、含水洼地等(图 1c、d).

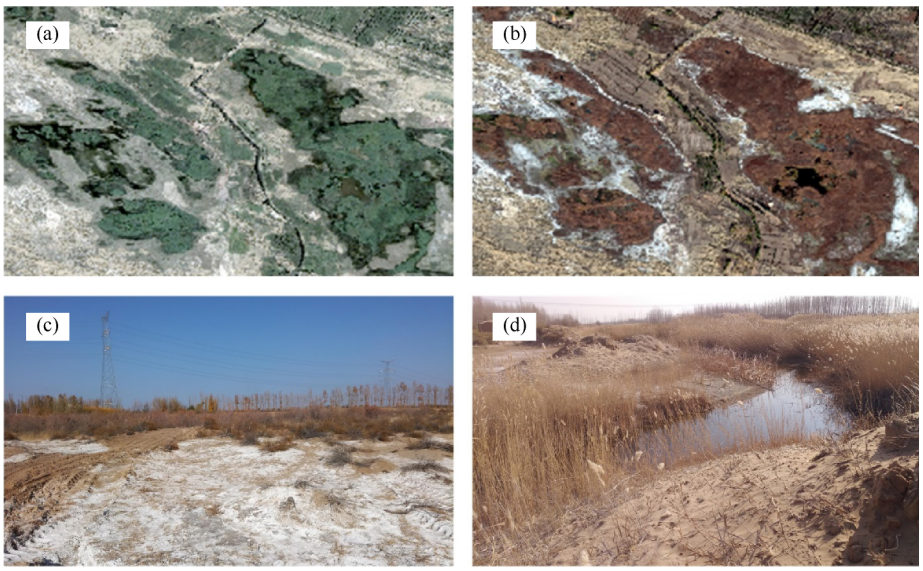


图 1　古河道遥感解译标志

2.2　探地雷达原理及数据获取

探地雷达(ground penetrating radar, GPR),又称地质雷达,是采用高频电磁波(频率一般介于 1 MHz~10 GHz 之间)来确定介质内部物质分布规律的一种无损地球物理探测方法[17].探地雷达系统主要由中心控制单元、发射天线和接收天线组成.利用探地雷达采集数据时,中心控制单元通过发射天线向地下发射高频电磁波脉冲,在传播过程中遇到

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

电性差异(如介电常数、电导率)较大的目标体或介质界面时,就会发生反射和透射.反射的电磁波脉冲被地面上的接收天线接收,由光纤传输到主机控制单元记录下来并将时间剖面图显示出来;透射的电磁波脉冲则透过界面继续向下传播,在遇到更深处的目标体或界面时发生反射,采集原理如图 2 所示.采集的原始数据经过图像滤波后,根据时间剖面图上反射波的时频特征和振幅特征来判断地下目标物的形态和位置,实现对地下目标体或介质界面的有效探测.

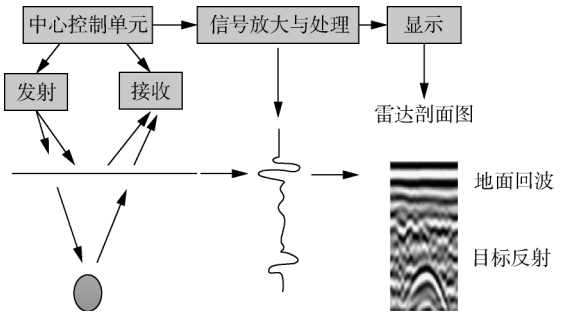


图 2 GPR 采集原理

本次研究选择瑞典 MALA 公司生产的 RAMAC 型探地雷达系统,采用发射天线与接收天线等距离一体化的方式采集数据.探地雷达的中心频率越高,其分辨率越高,但探测深度会降低;中心频率越低,其探测深度越深,但分辨率越低.综合本次探测古河道深度与分辨率的关系,选择中心频率为100 MHz 的非屏蔽天线(最大探测深度为 25 m,垂向分辨率为 0.125 m).采集数据采用 Keyboard 模式(即人工点击电脑的回车键触发采集数据),采样间隔为 0.5 m,采样点数为 534 个,采样频率为1 035 MHz,时窗为 506 ns,采集的每道数据在竖直方向进行 128 次叠加以提高探地雷达图像的信噪比.探地雷达图像以二维时间剖面的方式显示,横坐标表示天线在地面上行进的水平距离,纵坐标表示电磁波到达目标物并反射回来的双程走时.由于电磁波传播速度受到探测对象电导率的影响,结合前人测定和研究区实际情况,选择电磁波在湿沙中的传播速度 0.1 m/ns [18] 作为计算依据,然后通过时深转换得出目标物的深度.由于测区内沿测线方向有高低地形起伏,因此需要进行地形校正实现探地雷达图像与实际地形高低起伏相一致.本次研究选择天宝 R8 同步采集地形数据,以便应用于后期探地雷达图像的地形校正 [19] ,测线位置及现场采集照片如图 3 所示.



图 3 GPR 数据采集

3 数据分析

3.1 遥感解译

依据前述古河道遥感解译标志,通过 Spot7 与 Google Earth 影像解译出的地表以上古河道位置如图 4 所示.

3.2 探地雷达数据处理及解译

本次数据处理选用 Reflex W 商用软件,图像处理过程如图 5 所示.(a)为原始数据;(b)为时间零点校正:由于探地雷达天线距离地面具有一定的间隔,为了提高地下目标体的定位精度,需要去除电磁波到达地面的双程时间差;(c)为信号增益:电磁波在传播过程中会产生衰减,深度越大衰减越明显,因此需要对电磁波脉冲在 Y 轴方向上进行信号放大,增加可视化质量,以提高地下深处的电磁波信号解译精度;(d)为背景去噪:去除背景噪声和和天线的振铃信号,提高探地雷达信号的清晰度;(e)为带通滤波:选择巴特沃斯带通滤波器,为去除环境或者系统噪声,分别选择 50 MHz 和 200 MHz 作为低通截止频率和高通截止频率对雷达图像进行滤波处理;(f)为图像平滑:对数据沿水平方向进行平滑,抑制噪声,提高数据质量;(g)为地形校正:选择探地雷达测线上高程最高点所在平面作为基准参考面,根据时间移位原理计算各道数据到基准参考面的时间差,进而实现探地雷达图像的地形校正.

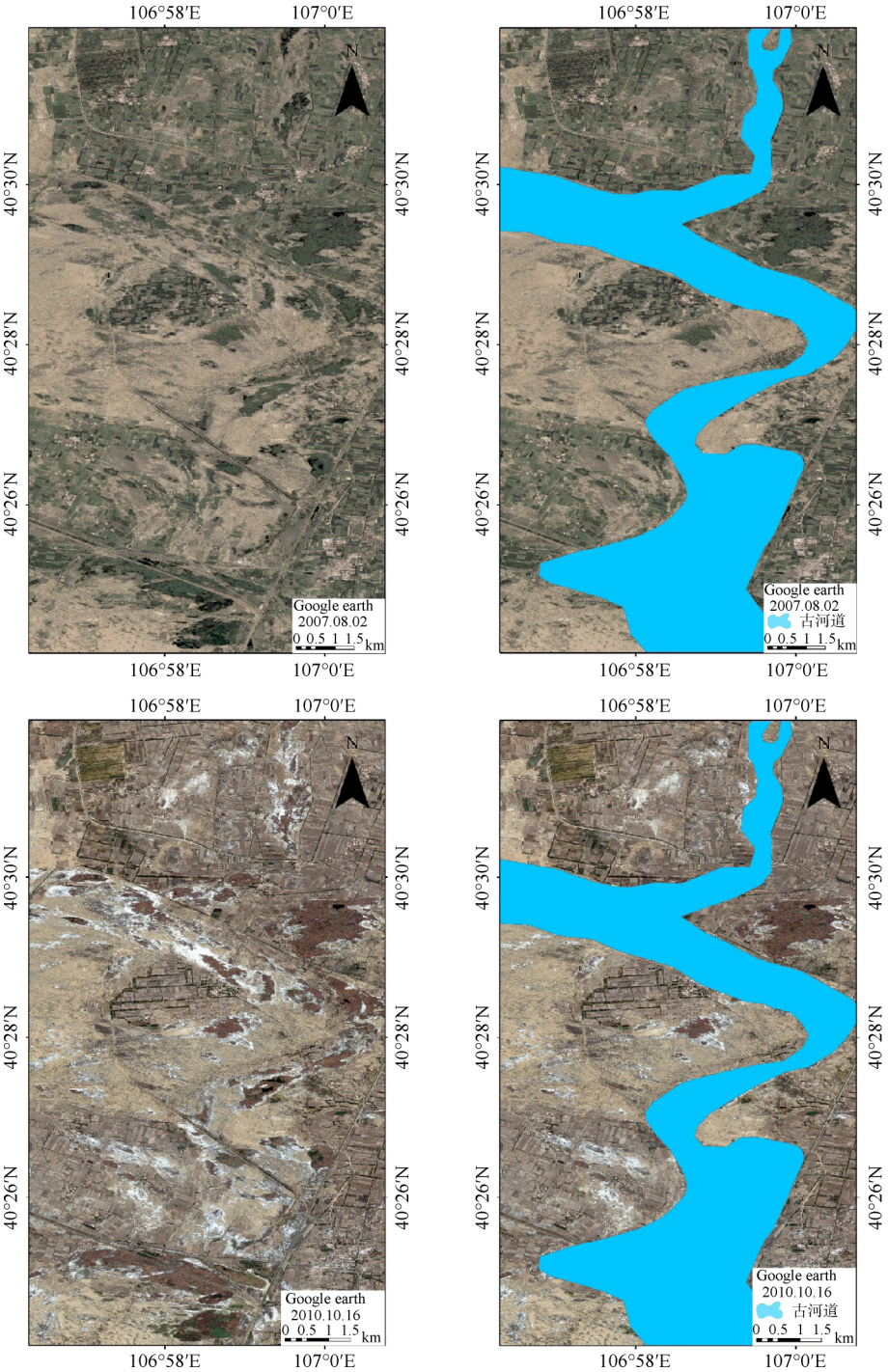
河流横剖面是指河槽中某处垂直于流向的断面,它的下界是河底,上界是水面线,两侧则为河槽边坡.河道废弃后,在原河流横剖面位置处主要为沉积物质,与原来和河流横剖面接触的物质具有明显的电性差异,这些差异则为探地雷达的探测奠定了基础.根据处理后的具有详细和连续信息的探地雷达图像,在测线水平位置 313~760 m,深度范围5~12 m 之间,可见明显的近于平面的反射与其两侧

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的倾斜反射构成的近似于凹槽形反射面，依据河流横剖面的形态，该凹槽形反射面则代表了古河床的反射.在水平距离 313 m 和 760 m 处的 A 点和 B 点出现的明显的反射变化代表了河流两侧岸边的位置，据此估算古河床宽度约为 447 m，通过探地雷达解译出的地表以下古河道位置如图 6 所示.

3.3　综合遥感影像与探地雷达图像解译

在探地雷达采集地下雷达波数据时同步记录有 GPS 坐标数据，因此在探地雷达图像上解译出的古河道位置可通过 GPS 数据与通过影像解译出的古河道位置相匹配，据此结合 Spot7 影像与探地雷达图像，在测线剖面处进行地上与地下一体化显示(图 7a).根据匹配结果，从遥感影像上解译的河床右岸与探地雷达图像上河流的右岸位置相一致; 但左岸有偏差，探地雷达图像上左岸比遥感解译出的结果向左偏移约 100 m.在测区位置东北方向约 5.5 km 处为临戎古城遗址，该遗址被风沙掩盖，形成大量沙



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

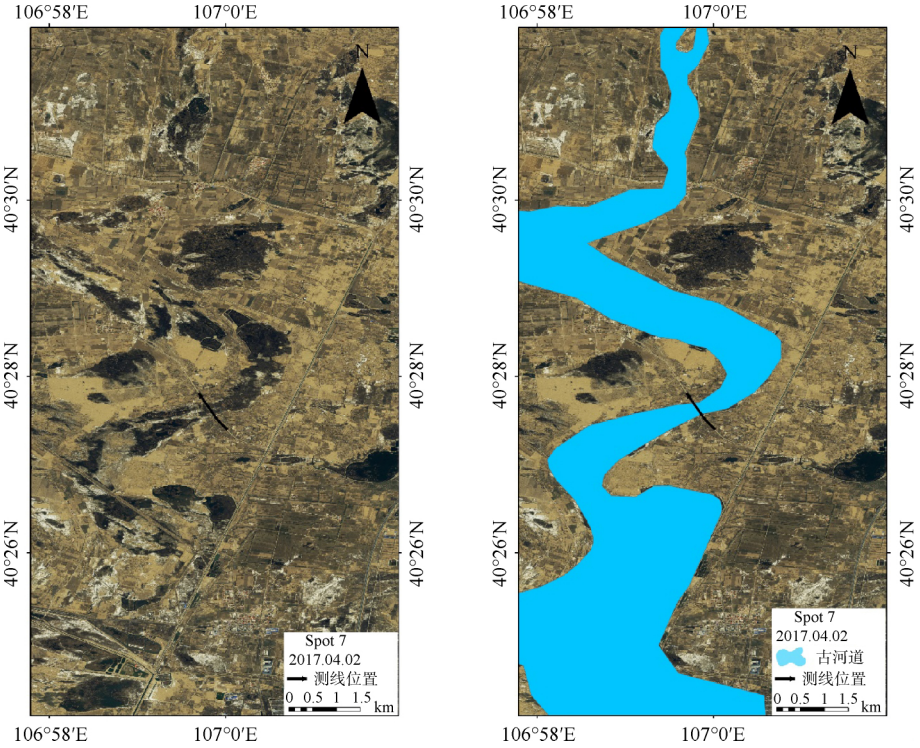
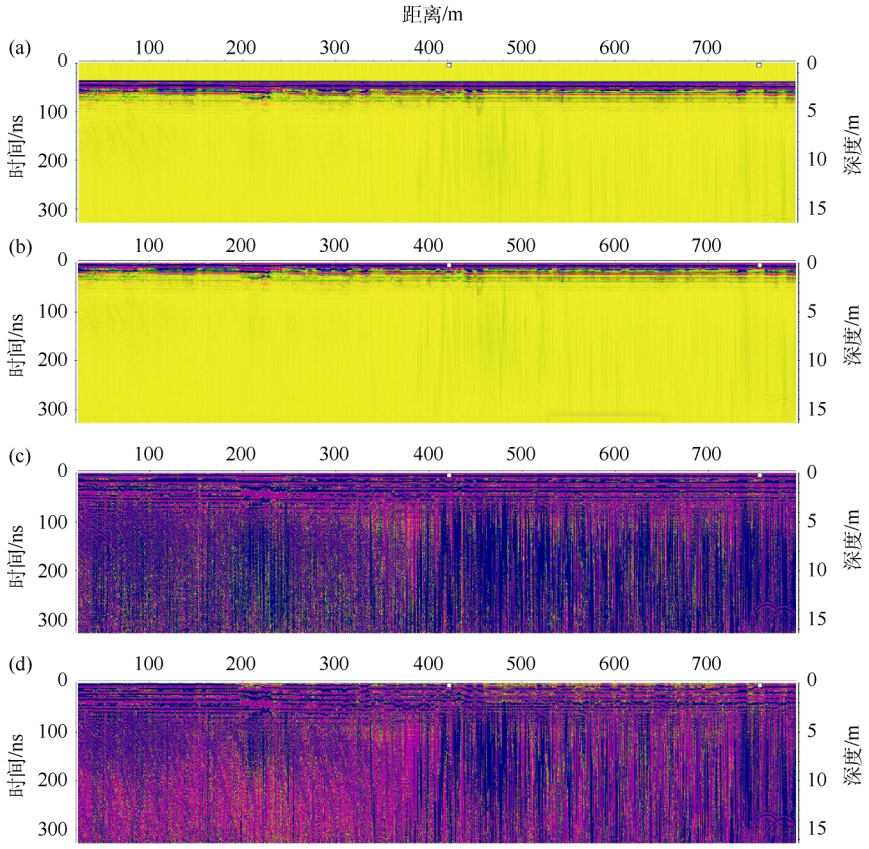


图 4 遥感影像及古河道解译结果

丘,地表遗迹已观测不到.在古河道右岸,植被覆盖量大,沙丘已被固定,因此保留了古河道的原始形态;在古河道左岸(图 7b),植被覆盖较少,沙丘为活动状态,因此推测古河道 S2-1 处被风沙掩盖,导致在遥感影像上解译出的古河道左岸位置相比于探地雷达图像向右偏移.因此, 古河道左岸应位



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

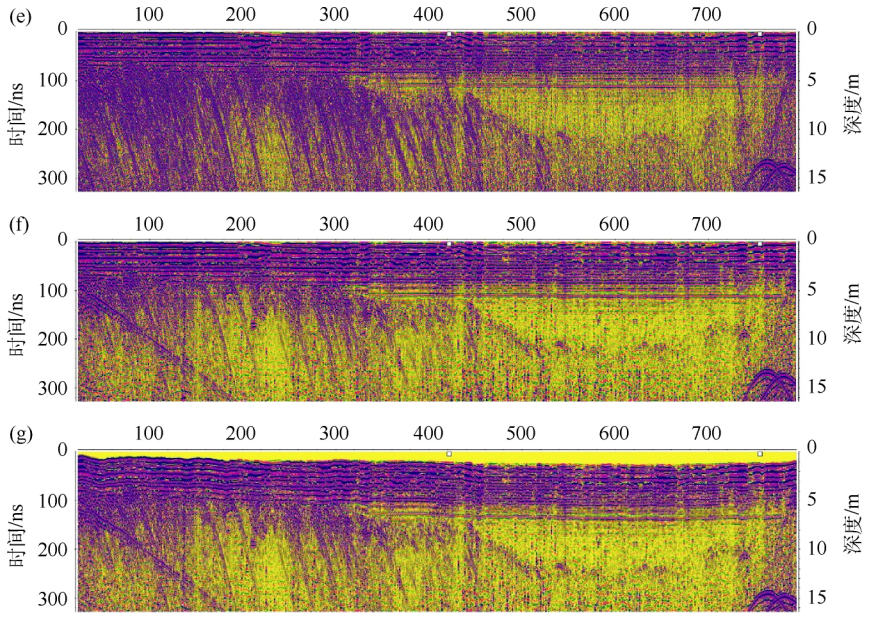


图 5　GPR 图像处理

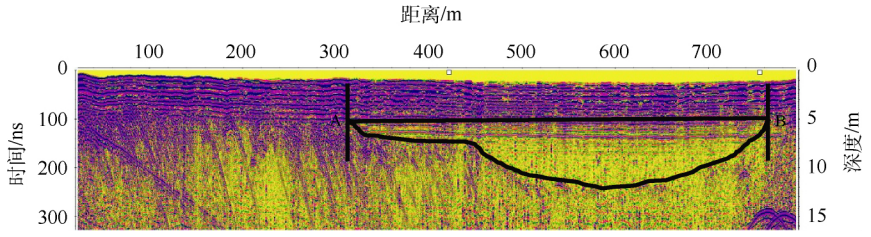


图 6　探地雷达古河道解译结果

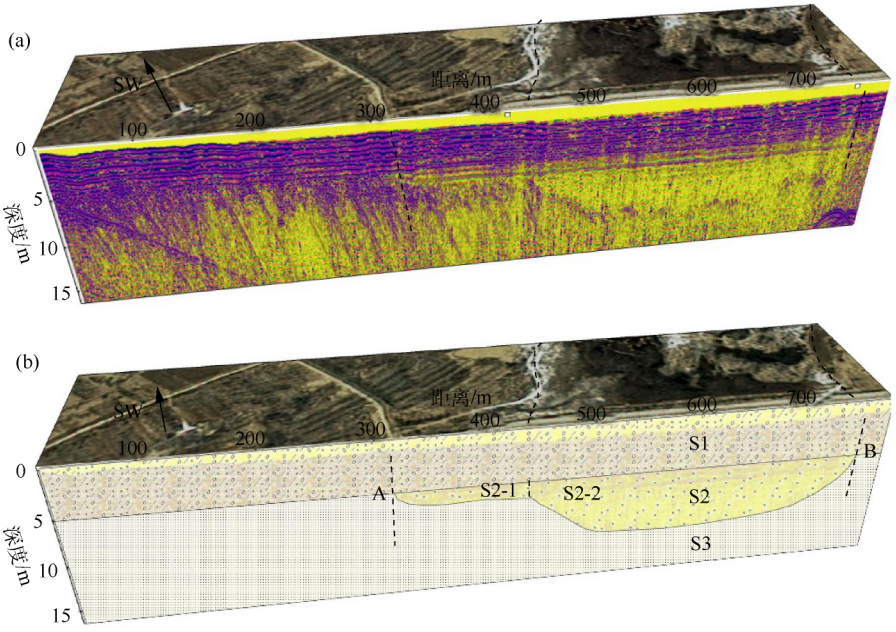


图 7　综合解译

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

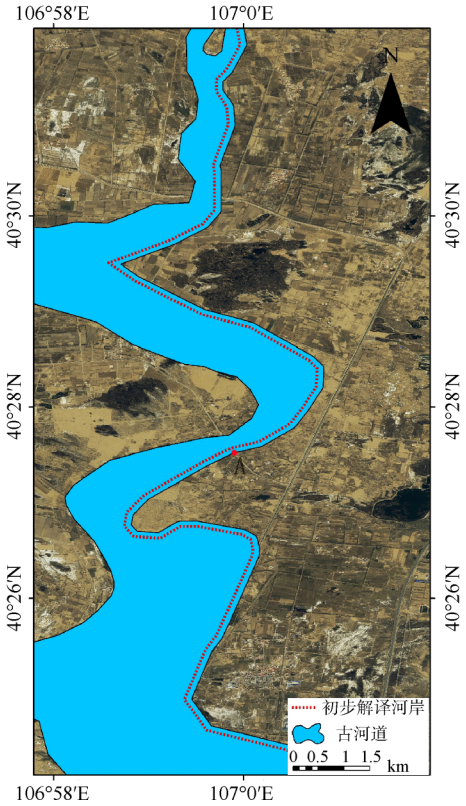


图 8 古河道最终解译图

于探地雷达图像上的 A 点处,将其投影在地图上如图 8 上 A 点所示,在该侧沿遥感影像初步解译出的古河道边界建立缓冲区,距离为 100 m,将该缓冲区与初始解译出的古河道位置进行合并,则为最终解译出的古河道,如图 8 所示.

5 结 论

本文综合利用 Google earth 以及 Spot7 影像,结合研究区内探地雷达数据对古河道剖面进行验证,精确识别出古河道的宽度为 447 m 以及埋深在 5~12 m 之间.研究结果表明:

(1) 遥感技术在宏观上可以定性识别出地表以上的古河道,但是由于受到地貌演变的因素,无法精确识别出古河道的宽度;

(2) 探地雷达技术可以快速获取地表以下物质的反射信息,不仅对地表环境无破坏,而且可以精确的识别出这古河道被掩埋部分的宽度及深度;

(3) 通过室内遥感技术初步解译与野外探地雷达的精确验证,为快速、高效的识别出古河道提供了一种新方法.

参 考 文 献

[1] 袁文英, 吴忱.1991 古河道的含义及其在华北平原的标志 [C] //吴忱. 华北平原古河道研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社: 37-48.

[2] 曹淞,冯晅,鹿琪,等.探地雷达在古河道砂岩体沉积储层刻画中的应用 [J] .世界地质,2016,35(1):223-234.

[3] 赵霞飞,丁贵明,王衡鉴,等.松辽盆地扶扬油层古河流分析 [J] .石油学报,1995(4):32-39.

[4] 张义丰,宁远.黄河故道的开发利用与发展前景 [J] .地理科学进展,1997(1):40-46.

[5] 舒军武,王伟铭,陈晔.太湖平原西北部全新世古河道沉积特征及环境演变 [J] .地层学杂志,2008(2):146-152.

[6] 吕霞,陈蕾,韩锋,等.莱芜市牟汶河利用古河道兴建平原水库工程 [J] .中国水运(下半月),2011,11(8):162-163.

[7] 陆丁潥,吴虹,郭琪,等.基于 Google Earth 影像的漓江水系形态特征提取与分析 [J] .国土资源遥感,2016,28(2):161-167.

[8] 叶梦旎,张绪教,叶培盛,等.SPOT-6 与无人机航测技术在第四纪地质及活动构造填图中的应用: 以内蒙古 1∶50000呼勒斯太苏木等四幅填图试点为例 [J] .地质力学学报,2016,22(2):366-378.

[9] 叶梦旎. 多源遥感数据在河套盆地第四纪地质与土地资源调查中的应用 [D] .北京: 中国地质大学,2017.

[10] 尹艳广,施炜,公王斌,等.地质雷达探测技术在浅覆盖活动构造区填图中的应用: 以宁夏青铜峡地区 1∶5 万新构造与活动构造区填图为例 [J] .地质力学学报,2017,23(2):214-223.

[11] GUHA A, ROY P, SINGH S, et al. Integrated use of LANDSAT 8, ALOS-PALSAR, SRTM DEM and ground GPR data in delineating different segments of alluvial fan system in Mahananda and Tista Rivers, West Bengal, India [J] . Indian Soc Remote Sens,2018,46(4):501-514.

[12] GU Z K, SHI C X, YANG H,et al. Analysis of dynamic sedimentary environments in alluvial fans of some tributaries of the upper Yellow River of China based on ground penetrating radar (GPR) and sediment cores [J] . Quaternary International,2018,in press.

[13] 周青硕. 河套地区全新世黄河古河道迁移演化规律及其成因机制 [D] .北京: 中国地质大学,2017.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[14] 许炯心.黄河河流地貌过程[M].北京: 科学出版社,2011: 2-3
[15] 丁磊.黄河内蒙古段河道变迁和干流水量损失研究[D].呼和浩特: 内蒙古农业大学,2012
[16] 刘晓鹏. 晚第四纪黄河磴口段河道变迁研究[D].兰州: 兰州大学,2016.
[17] JOL H M. 探地雷达理论与应用[M]. 雷文太,童孝忠,周旸,等译.北京: 电子工业出版社, 2011: 9-12
[18] HAVHOLM K G,BERGSTROM N D,JOL H M,et al.GPR Survey of a Holocene aeolian/fluvial/lacustrine succession, Lauder Sandhills,Manitoba,Canada [J].Geological Society,London,Special Publications,2003,211(1): 47-54.
[19] 李双飞,李家存,张迪.差分 GPS 实现探地雷达图像地形校正方法研究[J].地质力学学报,2016,22(3): 771-777.

Identification of Ancient River Channels Based on Multi-source Remote Sensing Data

——Take the Ancient Yellow River Channel in Dengkou Area as an Example

WANG Jun[1,2]　LI Jiacun[1,3]　ZHANG Di[4]

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048;
2. State Key Laboratory Incubation Base of Urban Environmental Process and Digital Simulation, Capital Normal University, Beijing 100048;
3. Key Laboratory of 3-Dimensinal Information Acquisition and Application Ministry, Beijing 100048;
4. College of Civil Engineering, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou Henan 451159)

Abstract

Ancient river channel is a natural space to enrich and store groundwater, the study of ancient river channel is an important means to reshape the evolution history of regional river topography, which plays an important role in local production and life. Because of the influence of natural and human factors, most ancient rivers are unable to be accurately determined its location on the Earth´s surface, the remote sensing and ground penetrating radar (GPR) technology can quickly get shallow reflection information of different features above and below the ground, can accurately serve the recognition of different features. This study based on the ancient river channel interpretation signs, used Google Earth and Spot7 images preliminary identified the location of the old channel, then combined with ground penetrating radar (GPR) images in the study area, accurately identified the ancient river channel shallow structure. The results showed that combination of remote sensing and ground penetrating radar (GPR) technology can be quickly and accurately identify the ancient river channel position and shallow structure, which provided a method reference for the study of ancient river channels.

Keywords: Google Earth; Spot7; ground penetrating radar; ancient river channel; remote sensing interpretation

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net