

文章编号: 1006-6616 (2016) 02-0366-13

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

叶梦旋^{1,2}, 张绪教¹, 叶培盛², 傅连珍^{1,2},
吴泽群^{1,2}, 贾丽云², 何祥丽¹

(1. 中国地质大学(北京) 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: 选择 SPOT-6 数据, 对内蒙古呼勒斯太苏木等四幅图的 SPOT-6 遥感影像进行正射校正、配准及信息的数字增强处理后, 根据不同地质体影像特征、野外实地调查, 初步建立了填图区第四纪地层及新构造活动的解译标志, 并结合野外地质调查, 对研究区沉积物的成因类型和分布范围、地貌特征及分区、活动构造运动等进行了调查验证; 利用 2015 年飞行的无人机航测数据, 对区内新构造、活动构造进行了识别及活动性质的初步判断。研究结果表明, 高精度遥感技术及无人机技术在平原区第四纪地质填图中具有独特优势, 有助于快速识别第四纪沉积成因类型与相对时序及准确厘定区域主要活动断裂空间位置与活动特征, 从而有效提升填图工作效率, 并弥补地表调查的局限。

关键词: SPOT-6; 无人机; 遥感; 第四纪地质; 活动构造; 河套盆地; 五原县
中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

0 引言

河套平原覆盖区地表基本为晚更新世 (Q_p^3) 以来的沉积物所覆盖, 如何开展平原区的第四纪地质填图、填图的内容以及成果的表达一直是个难题。本文的试点填图研究区地处河套盆地腹地, 鄂尔多斯台地北侧, 色尔腾山南缘。前人针对研究区基岩、矿产、活动构造等做过一系列地质调查及遥感研究工作。中国地震局于 20 世纪 90 年代对大青山、狼山—色尔腾山山前活动断裂带开展过 1:50000 填图, 初步查明了区内活动断裂的几何学、运动学特征及古地震复发周期。填图试点工作中遥感地质调查至关重要。遥感技术具有宏观性, 能够

收稿日期: 2015-12-01

基金项目: 中国地质调查局项目“内蒙古 1:50000 呼勒斯太苏木 (K48E017024)、塔尔湖镇 (K48E018024)、复兴城 (K48E019024) 吉尔嘎朗图乡幅 (K48E020024) 填图试点”(12120114042101)

作者简介: 叶梦旋 (1992-), 女, 硕士研究生, 专业方向第四纪地质与地理信息系统应用。E-mail: brownie418@sina.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。E-mail: zhangxi@cugb.edu.cn

更为直观地反映地表覆盖沉积物类型^[1~7]。2013年长安大学在“内蒙古自治区阿拉善盟拐子湖等三幅1:50000矿产地质调查”项目中, 使用SPOT高分辨率全色波段影像与ETM多波段融合影像提取了矿化蚀变信息, 圈定蚀变范围, 结果证明解译出的地质界限与实际地质体界限吻合较好, 说明SPOT数据对于解译不同地质地貌单元有很好的效果^[8]。近年来无人机航空摄影测量及其影像处理技术在高山峡谷区(青藏高原)的应用有了长足的进步^[9], 但是利用无人机低空摄影测量技术对河套盆地平原区、山麓过渡带新构造与活动断裂精细解译工作还未涉及。

本文对高分辨率SPOT-6遥感影像的数据区分出不同成因类型的地貌单元, 并且划分出不同时期形成的山前冲洪积扇和河流冲积物; 利用无人机航测的DEM数据对区内的细微地貌进行遥感解译, 对研究区北部山前过渡带河流阶地进行解译, 宏观掌握河流阶地的展布和延伸方向等形态特征及属性, 确定河流阶地的级序; 同时对山前活动构造带的几何学、运动学特征进行分析研判, 寻找断裂的垂直差异运动与水平错动的证据。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区临河县东部边界, 与五原县接壤, 处于东经107°45'—108°00'、北纬40°40'—41°20'之间; 属典型的大陆性气候, 冬季受西伯利亚气流影响, 寒冷而漫长, 夏季炎热、短促。受阴山山脉影响, 研究区南北气候存在一定差异, 北部较冷, 南部较温暖。

研究区北部为阴山山脉西段色尔腾山南缘, 山体呈近东西走向(见图1), 位于巴彦淖尔盟乌拉特前旗东北部和乌拉特中旗东南部, 是内蒙古高原的边缘山岭, 海拔1300~1800 m。山

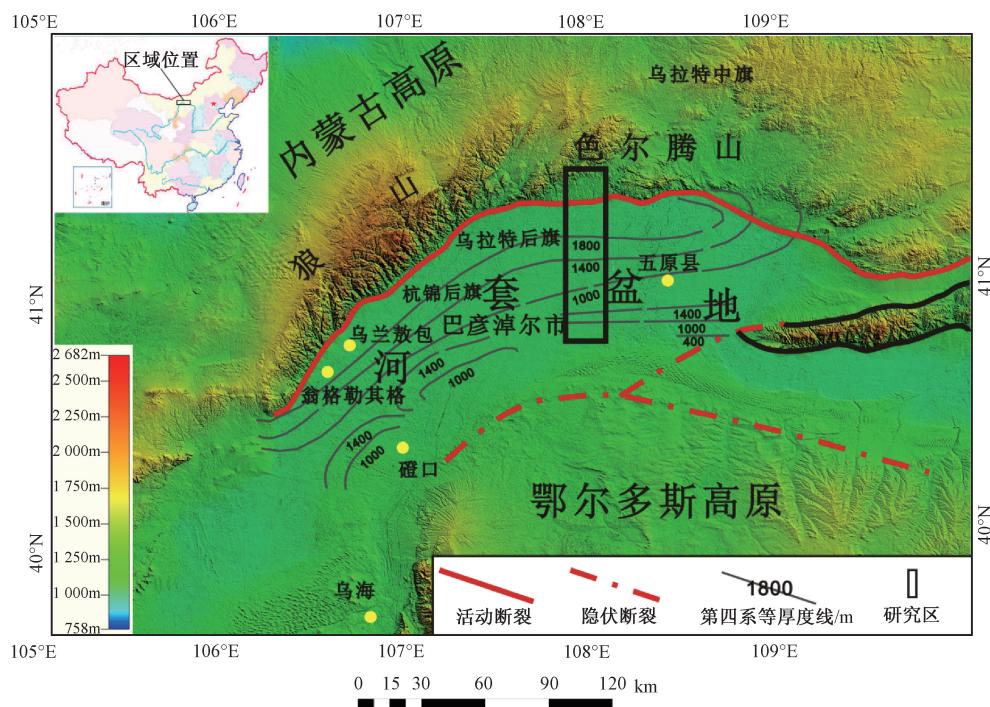


图1 研究区构造和地貌图

Fig. 1 The map showing landforms and tectonics of the study area

间有河流与泉水，较大的河有石哈河、摩楞河，为小余太川农牧林业发展提供了水源。多为中山和低山丘陵。研究区中部为广阔的河套平原，为冲积平原，平均海拔 1026~1072 m，在阴山山脉以南、黄河以北，地势平坦，居民房屋及耕地多分布于平原上。黄河从研究区南部穿过，河道蜿蜒曲折，呈现曲流河特征，并且河道附近平原上牛轭湖发育，为黄河截弯取直改道所致。黄河以南为库布齐沙漠北缘，被风成沙覆盖，水系不发育。

2 数据选择及图像处理

2.1 数据选择

在此次区域地质调查工作中，以解决地质问题和最佳性价比为原则，选取了两种数据，分别为 SPOT-6 数据和无人机航拍的高分辨率数据。对整个研究区使用中高分辨率 SPOT-6 数据（见表 1），而对于难以解译的地质体如河流阶地、活动断裂等重点调查区域，则使用无人机航拍高分辨率数据。无人机飞行平台选择四旋翼无人机，由机体、操纵系统、动力系统 3 部分组成。传感器以保证航摄质量为前提，本次航摄所用相机选择 SONY ILCE-QX1。

表 1 SPOT-6 传感器波段特征

Table 1 Band features of the SPOT-6 remote sensor

波段序号	波长范围/ μm	波段名称	地面分辨率/m	主要应用领域
1	0.450~0.520	蓝	6.0	对水体穿透强，该波段位于水体衰减系数最小，散射最弱的部位，对水体的穿透力最大，可获得更多水下信息
2	0.530~0.590	绿	6.0	探测健康植物绿色反射率，可区分植被类型和评估作物长势。对水体有一定的穿透力，可反映水下特征，水体浑浊度，沙洲，沿岸沙地等
3	0.625~0.695	红	6.0	对水中悬浮泥沙敏感。该波段位于含沙浓度不同的水体辐射值附近，广泛用于对裸露地表、植被、岩性、地层、构造、地貌等，为可见光最佳波段
4	0.760~0.890	近红外	6.0	对绿色植物类别差异最敏感，为植物通用波段。处于水体强吸收区，水体轮廓清晰。区分土壤湿度及寻找地下水，识别与水有关的地质构造、地貌、土壤、岩石类型等均有利
5	0.450~0.745	全色	1.5	具有较高的空间分辨率，可用于农林调查和规划，城市规划和较大比例尺专题制图

2.2 图像处理

2.2.1 SPOT-6 图像预处理

为了消除 SPOT-6 遥感图像中由大气散射引起的辐射误差，对遥感数据进行了大气校正；对大气校正后的数据进行镶嵌并裁剪得到研究区范围的遥感影像数据。为消除因地形起伏和传感器误差而引起的像点位移，对图像进一步进行正射校正，根据 DEM 纠正影像，为图像加上高程信息。

2.2.2 SPOT-6 图像增强

测区内遥感数字图像的目视效果较差，对比度不够，色彩饱和度较低。为了突出图像中目标信息，区分不同地物特征，扩大不同图像亮值间差别，使信息得到补偿，层次丰富，最终获得影像特征明显的图像，对研究区影像进行了图像增强处理，包括彩色合成（RGB = 4, 3, 2）^[10]，主成分变换，高斯平滑，裁剪拉伸。

SPOT-6 遥感图像虽然精度高，但是色彩饱和度不高。为了寻找不同地质体之间的岩性

分界线, 对 SPOT-6 遥感影像先进行了主成分变换, 再通过 RGB 彩色合成 ($RGB = 4, 3, 2$) 使 SPOT-6 遥感影像的色彩饱和度增大并进行了均衡化处理。直方图均衡化在一定程度上改善了图像的对比度差和灰度动态范围 (见图 2), 增强了图像的可读性, 提高了地物的可分性, 有利于进行遥感图像的目视解译。

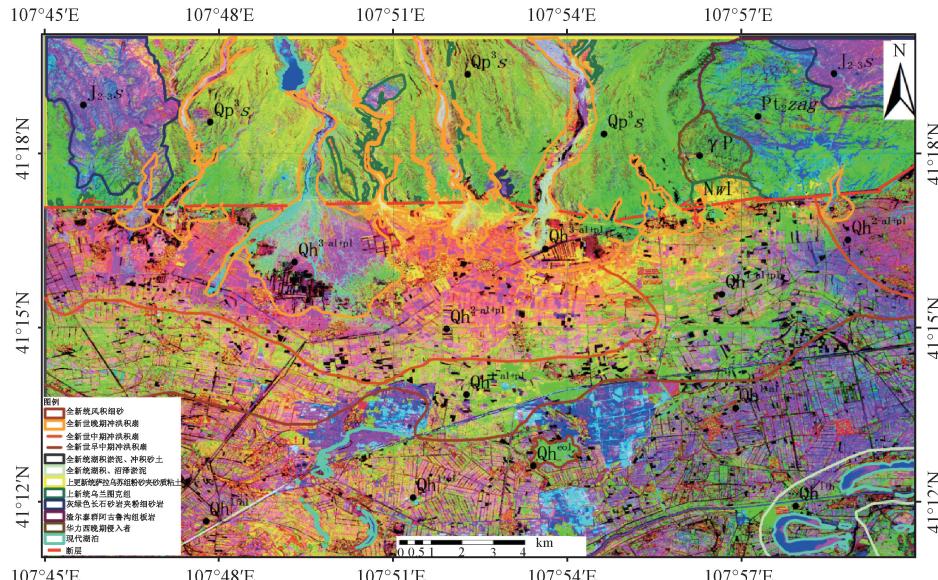


图 2 呼勒斯太苏木北部 SPOT-6 遥感增强图像 ($RGB = 4, 3, 2$)

Fig. 2 Enhanced SPOT-6 remote sensing image of North Hulesitai town

进行了 RGB 彩色合成 ($RGB = 1, 2, 3$), 得到假彩色合成图像。又对其进行 2% 裁剪拉伸, 使其对比度加强。最后对初步增强图像进行主成分变换。进行过遥感增强的图像, 黄河河床与河漫滩对比度增大, 不同期次河流冲积物色调差异明显, 界线截然 (见图 3), 为目视解译河床与河漫滩提供了便利。

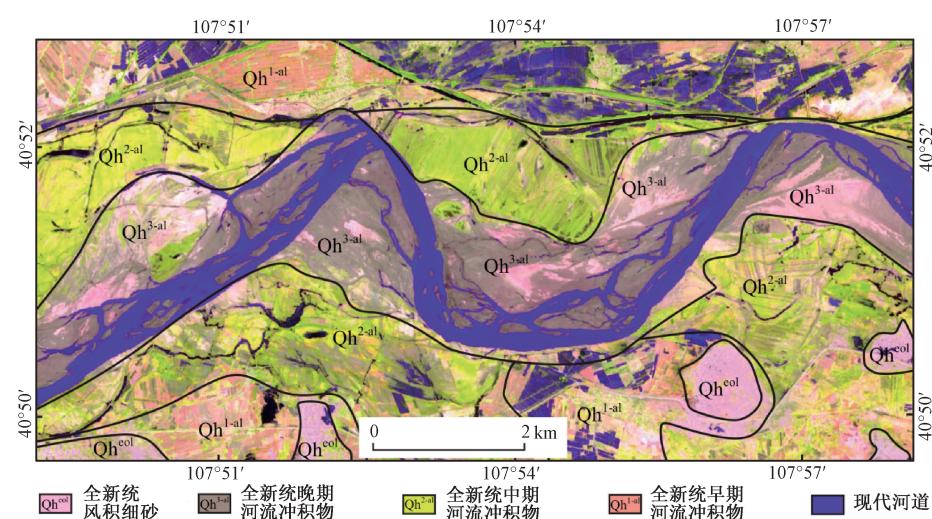


图 3 黄河河道遥感增强图像 ($RGB = 1, 2, 3$)

Fig. 3 Enhanced remote sensing image of Yellow River channel

2.2.3 无人机航测数据处理

通过无人机低空摄影获取测区数码影像，外业采用 GPS 测量少量像片控制点，内业通过采用密集匹配方法自动构建空中三角测量网，然后通过光束法平差实现快速无人机影像的解算，最后生成大比例尺高精度 DEM。

3 第四纪沉积物的遥感解译

研究区第四系主要属于内蒙古南部地层区河套盆地地层分区和鄂尔多斯地层分区，沉积厚度以河套盆地为最大。河套盆地更新统除在山麓阶地陡坎有零星出露外，大部分深埋于地下。研究区除北部基岩外，绝大部分被第四纪松散沉积物覆盖，广泛分布于山前冲沟、平原河流、湖盆周围及沙漠地区^[11~12]。区内第四纪松散堆积形态多样，浑圆状、不规则状、条带状、平台都有；地貌类型丰富，河谷地带为阶地、条带状地貌、扇体，沙漠发育新月形沙丘链、纵向沙垄等。SPOT-6 真彩色遥感影像色调从褐红色、棕黄色、黄色到灰黑色，纹形多变，斑点状、碎块状影纹，粗糙到光滑，带状阶地地貌、扇体、辫状水系发育。

研究区第四系按成因类型主要分为上更新统萨拉乌苏组(Qp^3)、全新统冲洪积(Qh^{al-pl})、冲湖积(Qh^{l+al})、沼泽及湖泊沉积(Qh^{l+h})、冲积(Qh^{al})、风成沙丘(Qh^{eol})等。上更新统出露于色尔腾山山前和山间河谷,而在盆地内广伏于全新统之下。全新统(Qh)有洪积、冲积、湖积、风积等松散堆积物,洪积冲积层呈带状断续分布于山前,构成洪积扇群,沼泽及湖泊沉积于平原区,风积零星分布于平原、大范围发育在测区南部的库布齐沙漠。山前地区的主要填图单元有冲积物、湖积物和洪积物。冲积物主要分布在规模较大的沟谷,洪积物主要分布在规模相对较小的冲沟,湖积物主要分布在山前两级台地。从时代来看,测区内第四系主要为上更新统(Qp^3)、全新统(Qh) (见图4)。

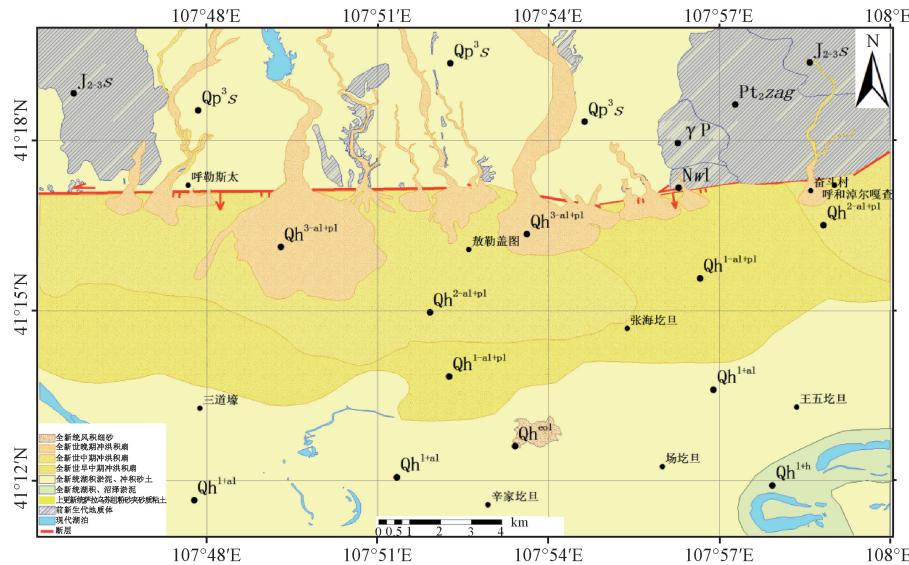


图4 呼勒斯太地区第四系成因类型解译地质图及分布图

Fig. 4 Types and distributions of Quaternary sediments in Hulesitai town

根据增强处理后的遥感影像，并在野外地质调查的基础上，识别出区内不同地质体的不同影纹特征，最后建立第四纪沉积物的遥感解译标志（见表2）。

表2 第四纪沉积物成因类型-填图单位遥感解译标志

Table 2 Remote sensing interpretation of Quaternary sediments

时代	填图单位	影像特征
全新统 第四系	风积、湖积物 (Qh^{col+1})	主要分布在库布齐沙漠北缘的古湖盆内, 表层现今多被风积细砂覆盖; 当地表覆盖有植物, 沉积物中含水量较大时在遥感增强图像上呈紫色鳞片状斑块。当沉积物盐碱含量较高时在图像中呈现湖蓝色。风积、湖积物大面积平均分布在库布齐沙漠腹地
	风积细砂 (Qh^{col})	主要分布于吉尔嘎朗图乡沿黄公路以南及其北侧, 平原区农田或湖泊周边少量零星分布; 在遥感增强影像上呈现土黄色、黄绿色, 因为受地形凹凸的影响, 可见鱼鳞状、波状纹理。沙地表面覆盖有耐旱植被地区, 呈黄绿色并夹有篮紫色鳞片状图斑
	冲洪积物 (Qh^{al+pl})	冲洪积扇分布在山前, 呈撒开三角形、水系呈放射状; 在影像上为黄至亮蓝色扇体, 扇顶与冲沟相连, 冲沟冲出的冲洪积物一直往下延伸堆积至扇中、扇缘, 影像上经常有多个扇体并排出现
	冲湖积物 (Qh^{l+al})	在影像上呈现为红粉色的大面积区域, 影纹平滑。由于土质良好, 适合农作物生长, 因此多为农作物覆盖
	冲积物 (Qh^{al})	主要分布于黄河流域南北两侧以及现代河流、古河道两侧; 在遥感影像上, 位于河道边的冲积物呈绢丝光泽的紫红、黑红色影纹
	湖积物 (Qh^{l+h})	主要分布于塔尔湖、库布齐沙漠北缘的现今湖泊、干涸的古湖盆及其周围; 在影像上, 呈现为夹杂有亮白色团块的紫蓝色物质, 色调比周围农田等地物要浅, 分布于现今湖泊及干涸的古湖道周围
上更新统	萨拉乌苏组 (Qp^3s)	色调呈灰白色、浅灰色, 表面平整均匀, 纹理粗糙, 多构成二、三级阶地

4 古河道的遥感解译

4.1 古河道遥感解译标志

遥感解译就是利用不同地质体遥感图像色调和形态的不同来判译地质体的属性。本文通过对 SPOT-6 真彩色遥感影像的目视判读, 再结合研究区历史地理资料、野外 GPS 调查资料, 确立区内古河道的判译标志如下:

①形状特征: 古河道在图像上反映的形状与其自身形状一致, 为蜿蜒曲折的线状特征。受后期人为活动影响, 有的古河道呈现出居民点、耕地沿河道定向排列的蛇曲线状分布特征。

②色调特征: 古河道的间接判读标志既有土壤标志也有植被标志, 其原因是地下古河道的存在影响了其上地表土壤的某些物理特性和植被的长势, 造成与周围土壤和植被辐射特征的差异。由于古河道后期经过河流沉积作用, 被沉积物覆盖, 成为地下浅层淡水富集带。古河道地区含水量高于周围地区, 土壤透水性好且混有有机质腐殖质使得古河道分布地区植被长势较好^[13]。遥感影像上地表植被已经返青, 古河道的判读应以植被标志为主, 在 SPOT432 假彩色合成图像上, 古河道分布地区与正常地区相比, 植被颜色呈深绿色。

4.2 监督分类

依旧选取 SPOT-6 遥感影像作为古河道解译的主要数据源, 其具有高分辨率等特征, 便于提取古河道及反映古河道遗存的串珠状小型湖、泡、沼及微地貌结构等信息。软件平台使用的是 Erdas Imagine 8.6、Envi 4.0 软件。

本研究中采取了监督分类的方法, 针对 SPOT-6 (RGB = 1, 2, 3) 真彩色合成图像(见图 5), 依据影像灰度、色调、纹理、形状、大小等地物的各种特征进行目视解译。将本区土地类型分为 4 大主要类型: 盐碱地、沙地、古河道残留水体以及耕地(见图 6)。



图 5 塔尔湖地区 SPOT-6 遥感影像

Fig. 5 SPOT-6 remote sensing image in
Taal Lake area

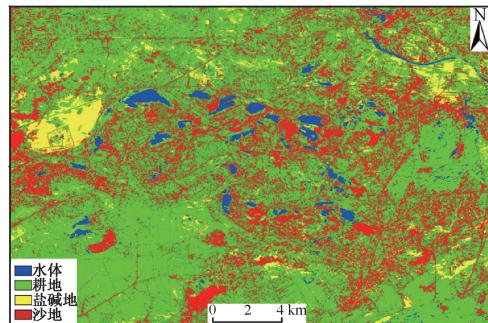


图 6 塔尔湖地区监督分类图

Fig. 6 Supervised classification image in
Taal Lake area

通过监督分类后的影像可以清晰看出古河道在地表的残留水体为串珠状分布的小湖泡，具有线状分布特征，辅助 SPOT-6 数字增强的遥感影像可以较为准确地目视解译出古河道的分布范围（见图 7）。

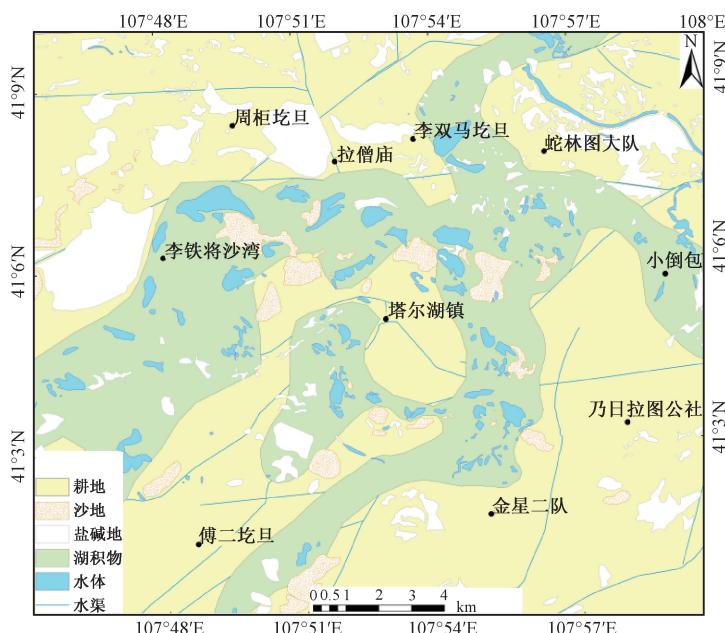


图 7 塔尔湖地区现今残留湖盆、古河道分布图

Fig. 7 Distribution of residual lake basin and paleochannel in Taal Lake area

5 活动构造的遥感解译

研究区正处在阴山东西向复杂构造带南部和鄂尔多斯坳陷北部。伴随着阴山的隆起，主要发育线性紧密褶皱，褶皱轴面东西向展布，由西向东转为北东东向，东西向山前活动断裂发育，长数十至数百千米。其中，呼包断裂位于阴山山脉南缘，西起临河、五原经包头至呼

和浩特, 呈近东西向延伸, 基底为太古代变质岩系, 其上被巨厚的第四纪地层覆盖, 全新世时期构造活动强烈^[14~18]。

5.1 河流阶地的遥感解译

河流阶地包含丰富的构造运动和气候变化信息, 阶地的发育年代、形成过程以及构造变形等一系列问题一直是新构造和古气候研究的重要内容^[19~20]。利用遥感图像对研究区河流阶地进行解译(见图8), 可以宏观掌握河流阶地的展布和延伸方向等形态特征及属性, 确定河流阶地的级序, 有助于区内新构造运动的地貌响应与山前活动断裂性质、期次与活动强度的研究, 同时可以提高野外工作的效率和精度^[17]。

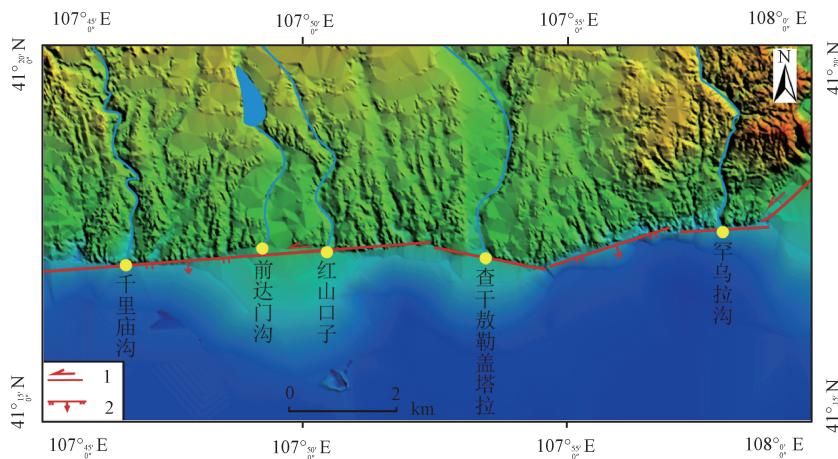


图8 DEM影像显示的河套盆地北缘山麓过渡带的主要河谷分布

Fig. 8 DEM image showing the distribution of the main valley in the transition zone in Northern Hetao basin

测区山前发育4级河流阶地, 也是该区阶段性强烈隆升的地貌证据^[21], 同时, 阶地上的沉积物类型与特征, 可反映该区气候与环境变化。

5.1.1 河流阶地解译过程

河流地貌解译流程(见图9): ①准备阶段, 通过收集流域资料, 选择卫星遥感影像作为数据源, 确立阶地发育状况较好的重点区域; ②初步解译与野外考察, 任务是根据遥感影像, 掌握解译河流阶地的总体发育特点, 建立目视解译标志, 并在野外实测河谷横剖面图等; ③室内详细判读, 如发现不清楚的地方或有待于验证的问题要及时记录下来, 留待补判阶段解决; ④野外验证与补判, 野外验证的主要内容是检验河流阶地的图斑内容及界限是否正确; ⑤将目视解译成果转绘与制图^[17]。

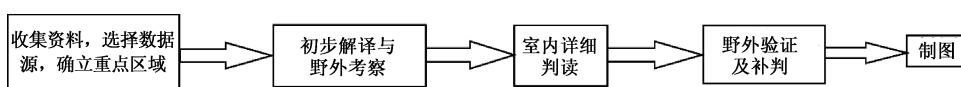


图9 河流阶地解译流程图

Fig. 9 Interpretation flowchart of river terrace

5.1.2 河流阶地遥感影像特征

河流阶地在高分辨率遥感影像上特征清晰。较老阶地表面常遭破坏, 年轻阶地保留完好。阶地是新构造运动的标志, 解译时应注意阶地的级数、宽度、高度和同一阶地的延伸长度。

在影像上, 河流阶地沿河流呈条带状展布, 阶面一般比较平整、连续, 向河心或下游缓

倾。阶面与阶坎间地形和色调有较明显差异，阶坎向阳时为比阶面浅的条带，背阳时阶坎为比阶面暗的条带（见图 10）。此外，不同类型的阶地可依据不同的影像特征区分（见表 3）。

通过 SPOT-6 遥感影像并结合无人机航拍 DEM（见图 11），可以看出，测区山前发育 4 级河流阶地，东、中、西部阶地发育特征有较大差异：西部千里庙沟，由于地处低山丘陵地带，呈下切河曲形式，发育的河流阶地类型以侵蚀阶地与基座阶地为主，砾石层厚度 3~10 m 不等；中部的前达门沟、红山口子、查干阿勒盖塔拉发育在宽阔的山麓台地内部，切穿台地，并发育 4 级河流阶地（见图 12），以基座阶地和堆积阶地为主，砾石层厚度 5~10 m 不等，而且在 T4 下部，发现有湖相沉积层，查干敖勒盖塔拉中上游发育有基座阶地（见图 13）；东部河谷中的河流阶地由于发育在基岩山地中，阶地类型以基座阶地或侵蚀阶地为主。

表 3 不同阶地遥感影像特征

Table 3 Characteristics of remote sensing images in different types of terrace

阶地类型	遥感影像特征
侵蚀阶地	完全由基岩组成。色调一般较暗，而且多位于河流上游山区
堆积阶地	完全由河流沉积物组成。阶面平整色调浅而均一，其上常有耕地和居民点，多位于河流中下游
基座阶地	阶地下部底座为基岩，上部为河流沉积物。阶面色调一般较浅，陡坎处色调深。基座阶地与堆积阶地相似，两者不易区分

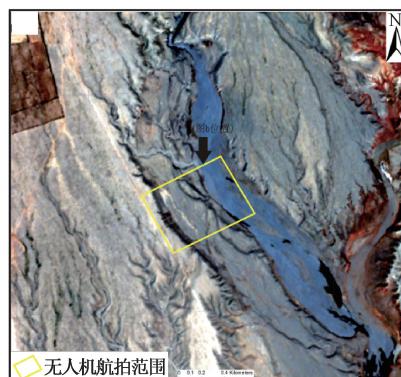


图 10 查干敖勒盖塔拉河谷遥感影像

Fig. 10 Remote sensing image of Chagan Aolegaitala Valley

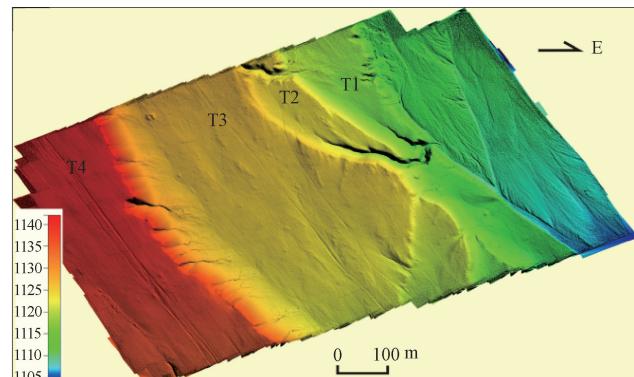


图 11 查干敖勒盖塔拉河谷河流阶地无人机航拍 DEM

Fig. 11 The UAV aerial image of river terrace in Chagan Aolegaitala Valley

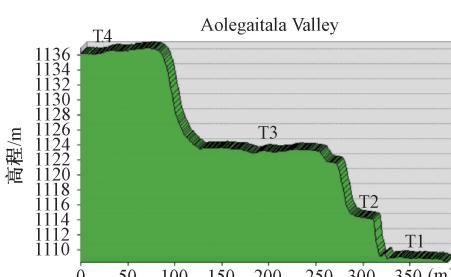


图 12 查干敖勒盖塔拉河谷西侧河流阶地无人机航拍地貌高程剖面图

Fig. 12 UAV aerial topographic elevation profile in the river terraces, western Chagan Aolegaitala Valley

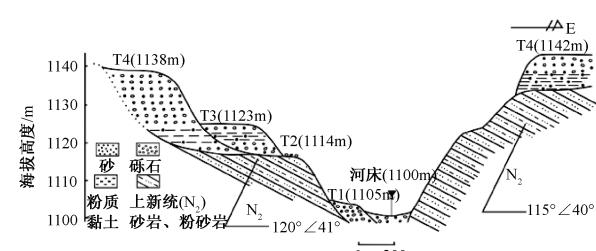


图 13 查干敖勒盖塔拉河谷横剖面图

Fig. 13 Cross sectional profile of Chagan Aolegaitala Valley

5.2 山前活动断裂带的遥感解译

色尔腾山山前断裂带位于鄂尔多斯活动地块北侧, 是河套盆地北缘最重要的控盆断裂, 晚新生代以来发生强烈的正断层活动(见图14a), 发育近东西向展布的活动断裂构造地貌景观^[18]。

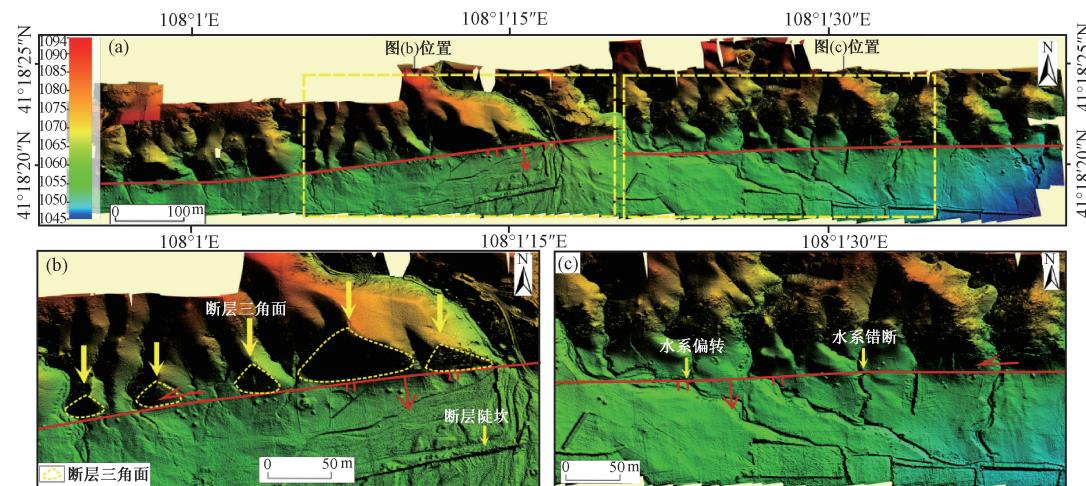


图14 河套盆地北缘控盆断裂几何展布及错段地貌特征

Fig. 14 Geometric distribution and dislocation landform characteristics of basin-controlling faults in northern Hetao Basin

遥感影像上断裂带地表出露清晰, 断裂北侧为色尔腾山隆起, 长约370 km, 平均海拔1500~2200 m。断裂带附近褶皱构造较发育, 地层以基岩为主, 影像纹理粗糙, 色调偏暗。断裂南侧是山前洪冲积倾斜台地, 海拔1000~2000 m, 影像纹理较细腻, 色调偏亮。遥感解译出3—4期山前洪积扇的垂向叠加, 反映色尔腾山3—4期构造抬升或气候变化, 在测区东部整齐排列的断层三角面(见图14b), 也反映色尔腾山垂直差异运动, 并且沟口处水系发生水平同步偏转且有错段现象^[22](见图14c)。山前冲洪积扇形态发生偏扭变形, 扇形地的中轴线与断裂斜交, 表征了活动断裂兼具平移错动, 而且其偏扭摆动方向准确反映了该断裂为左旋剪切^[6,15]。据地震及地质资料, 沿断裂带发现历史地震与古地震遗迹^[18]。综上所述, 该断裂带影像特征明显, 具有强烈的垂直差异运动与水平错动特征, 并且沿断裂带有地震活动, 表明其从第四纪晚期至现代均具有较强的活动性。

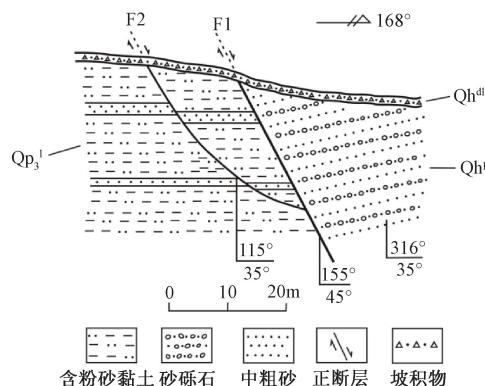
野外实地验证中, 在呼勒斯太苏木北东1.5 km处发现了山前断裂的直接证据(见图15a), 在上盘的下降作用中, 原本水平的全新世砂砾石层发生旋转, 向北倾斜, 湖相层中发现主断裂的次生小断层(见图15b)。

6 结论

在内蒙古呼勒斯太苏木、塔尔湖镇、复兴城、吉尔嘎朗图乡幅1:50000区域第四纪地质调查中, 根据SPOT-6遥感数据在平原区第四纪地质填图中具有的精度高、灵敏度高以及无人机快速高效的独特优势, 通过对SPOT-6遥感图像的数字增强处理并解译, 无人机航测数据提取的DEM进行分析, 对研究区的第四纪地质及新构造进行解译; 划分测区内第四系成



(a) 正断层野外验证照片(面向北东)



(b) 正断层剖面(引自: 内蒙呼勒斯太苏木等4幅1:5万填图报告)

图 15 敖勒盖图北崩洪口子西边探槽正断层

Fig. 15 Normal fault in western trench of Benghongkouzi in northern Aolegaitu

因类型,识别、筛分不同期次的山前冲洪积扇、黄河冲积物,圈定河套平原内古河道,建立了不同成因类型的第四系遥感解译标志;通过遥感影像及DEM影像中水系、断层三角面、冲洪积扇偏转等方面的研究,对区域内活动构造性质及期次进行了研究,近东西向正断层运动及其左旋走滑分量进行了解译,从而提高野外工作效率及室内综合分析研究的有效性,继而提升野外填图精度,丰富地质填图的图面信息。建立了在河套盆地开展不同数据源遥感研究的一套技术流程。此次研究不但较好地体现了遥感影像在平原区地质研究和地质填图中应用的优点,而且为河套平原新生代构造地貌演化研究奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] 张绪教, 李团结, 陆平, 等. 卫星遥感在西藏安多幅1:25万区域第四纪地质调查中的应用 [J]. 现代地质, 2008, 22 (1): 107~115.
ZHANG Xu-jiao, LI Tuan-jie, LU Ping, et al. Application of satellite remote sensing to 1: 2500000 regional Quaternary investigation in Amdo Sheet, Tibet [J]. Geoscience, 2008, 22 (1): 107~115.
- [2] 薛腊梅, 赵希涛, 张耀玲, 等. 遥感技术在东昆仑新生代地质填图中的应用 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 70~77.
XUE La-mei, ZHAO Xi-tao, ZHANG Yao-ling, et al. Application of remote sensing technique in the mapping of Cenozoic geology of the East Kunlun Mountains [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 70~77.
- [3] 刘刚, 于学政. 浅谈遥感技术在1:5万区调中的应用 [J]. 国土资源遥感, 1997, (1): 14~19.
LIU Gang, YU Xue-zheng. The method of 1: 50000 geological mapping using remote sensing technology [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1997, (1): 14~19.
- [4] 白朝军, 陈瑞保. 遥感技术在青藏高原空白区地质填图中的应用 [J]. 河南地质, 2001, 19 (2): 153~157.
BAI Chao-jun, CHEN Rui-bao. Application of remote sensing technology on geological mapping in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Henan Geology, 2001, 19 (2): 153~157.
- [5] 刘登忠. 试论遥感技术在红层1:50000区调填图中的作用 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26 (2): 119~123.
LIU Deng-zhong. A discussion on the role of remote sensing in 1: 50000 geological mapping in red beds [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26 (2): 119~123.
- [6] 乔彦肖, 赵志忠. 冲洪积扇与泥石流扇的遥感影像特征辨析 [J]. 地理学与国土研究, 2008, 17 (3): 35~38.
QIAO Yan-xiao, ZHAO Zhi-zhong. Discrimination between the features of remote sensing images of alluvial-diluvial fan and debris flow fan [J]. Geography and Territorial Research, 2008, 17 (3): 35~38.

- [7] 吴志春, 郭福生, 刘林清, 等. 遥感技术在区域地质调查中的应用研究——以江西省1:5万陀上幅区调应用为例 [J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 2013, 36 (4): 364~374.
WU Zhi-chun, GUO Fu-sheng, LIU Lin-qing, et al. Application of remote sensing technology in regional geological survey: A case study in Tuoshang, Jiangxi Province by 1:50000 [J]. Journal of East China Institute of Technology: Natural Science Edition, 2013, 36 (4): 364~374.
- [8] 谭雨婷. 基于SPOT影像的内蒙古额济纳旗地区遥感地质解译研究 [D]. 西安: 长安大学, 2014.
TAN Yu-ting. Study of remote sensing geological interpretation in Ejina region, Inner Mongolia, based in SPOT data [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [9] 张启元. 无人机航测技术在青藏高原地质灾害调查中的应用 [J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2015, 3 (2): 67~72.
ZHANG Qi-yuan. Application of UAV aerial surveying technology in the investigation of geological disaster on Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Qinghai University: Natural Science Edition, 2015, 33 (2): 67~72.
- [10] 孙华, 林辉, 熊育久, 等. Spot5影像统计分析及最佳组合波段选择 [J]. 遥感信息, 2006, (4): 57~60.
SUN Hua, LIN Hui, XIONG Yu-jiu, et al. The analysis of statistical characteristics of SPOT-5 image and its optimum band combination [J]. Remote Sensing Information, 2006, (4): 57~60.
- [11] 马保起, 李德文, 郭文生. 晚更新世晚期呼包盆地环境演化与地貌响应 [J]. 第四纪研究, 2004, 24 (6): 630~637.
MA Bao-qi, LI De-wen, GUO Wen-Sheng. Geomorphological response to environmental changes during the late stage of Late Pleistocene in Hubao Basin [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24 (6): 630~637.
- [12] 李建彪, 冉勇康, 郭文生. 呼包盆地第四纪地层与环境演化 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (4): 632~644.
LI Jian-biao, RAN Yong-kang, GUO Wen-sheng. Division of Quaternary beds and environment evolution in Hubao Basin in China [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (4): 632~644.
- [13] 何慧. 巢湖东部古河道遥感信息提取及水系变迁研究 [D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2007: 21~33.
HE Hui. Study on the remote sensing information extraction of paleochannel and the change of water system in eastern Chaohu [D]. Wuhu: Anhui Normal University, 2007: 21~33.
- [14] 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 [M]. 北京: 地震出版社, 1988: 1~328.
The Research Group on "Active fault system around Ordos Massif" in State Seismological Bureau. Active fault system around Ordos Massif [M]. Beijing: Seismological Press, 1988: 1~328.
- [15] 江娃利, 肖振敏, 王焕贞, 等. 内蒙大青山山前活动断裂带的地震破裂分段特征 [J]. 地震地质, 2001, 23 (1): 24~34.
JIANG Wa-li, XIAO Zhen-min, WANG Huan-zhen, et al. Segmentation character of seismic surface ruptures of the Piedmont active fault of Mt. Daqingshan, Inner Mongolia [J]. Seismology and Geology, 2001, 23 (1): 24~34.
- [16] 汪良谋, 董瑞树, 张裕明, 等. 河套地区新生代地质构造和地震活动的某些特点——兼谈鄂尔多斯周边新生代断陷盆地的形成机制 [J]. 华北地震科学, 1984, 2 (4): 8~16.
WANG Liang-mou, DONG Rui-shu, ZHANG Yu-ming, et al. Characteristics of the Hetao area Cenozoic geological structure and earthquake activity: Formation mechanism of Cenozoic faulted basins in Erdos surrounding [J]. North China Earthquake Sciences, 1984, 2 (4): 8~16.
- [17] 陆春宇, 赵秀娟, 张绪教, 等. SPOT5卫星遥感在克什克腾旗西拉木伦河河流阶地研究中的应用 [C] //中国地质学会旅游地学与地质公园研究分会年会暨金丝峡旅游发展研讨会, 2011.
LU Chun-yu, ZHAO Xiu-juan, ZHANG Xu-jiao, et al. The application of SPOT5 satellite remote sensing of the terrace of Xar Moron River in Hexigten Banner [C] //Annual Meeting of the Institute of Tourism Geology and Geological Parks of China and Gold Gap Tourism Development Seminar, 2011.
- [18] 杨晓平, 冉勇康, 胡博, 等. 内蒙古色尔腾山山前断裂带乌加河段古地震活动 [J]. 地震学报, 2003, 25 (1): 62~71.
YAN Xiao-ping, RAN Yong-kang, HU Bo, et al. Paleoseismic activity on Wujahe segment of Serteng piedmont fault, Inner Mongolia [J]. Acta Seismologica Sinica, 2003, 25 (1): 62~71.
- [19] 邢成起, 丁国瑜, 卢演伟, 等. 黄河中游河流阶地的对比及阶地系列形成中构造作用的多层次性分析 [J]. 中

国地震, 2001, 17 (2): 187~201.

XING Cheng-qi, DING Guo-yu, LU Yan-chou, et al. Comparison of river terraces in the middle reach valleys of the Yellow River and analysis on the multi-gradational features of tectonic action in the formation of terrace series [J]. Earthquake Research in China, 2001, 17 (2): 187~201.

[20] Liyun Jia, Xujiao Zhang, Zexin He, 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.

[21] 贾丽云. 内蒙古阴山西段新构造运动与地貌响应 [D]. 北京: 中国地质大学, 2015.

JIA Li-yun. Neotectonics and geomorphic response in western Yinshan Mountains area, Inner Mongolia, northern China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.

[22] 张之武, 付碧宏, Yasuo Awata. 新疆阿尔泰山南部富蕴右旋走滑断裂带晚第四纪错断水系的遥感分析研究 [J]. 第四纪研究, 2008, 28 (2): 273~279.

ZHANG Zhi-wu, FU Bi-hong, Yasuo Awata. Late Quaternary systematic stream offsets along the Fuyun right-lateral strike-slip fault, Altay Mountains, China [J]. Quaternary Sciences, 2008, 28 (2): 273~279.

APPLICATION OF SPOT-6 AND THE UAV AERIAL TECHNOLOGY IN QUATERNARY GEOLOGY AND TECTONIC MAPPING: TAKING THE 1:50000 MAPPING PILOT OF THE HULESITAI AREA, INNER MONGOLIA AS AN EXAMPLE

YE Meng-ni^{1,2}, ZHANG Xu-jiao¹, YE Pei-sheng², FU Lian-zhen^{1,2},
WU Ze-qun^{1,2}, JIA Li-yun², HE Xiang-li¹

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

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

Abstract: Through choosing the SPOT-6 data, on the basis of pre-proceeding images of the Hulesitai area, Inner Mongolia, including Ortho-rectification, registration and sharpness, we initially established Quaternary strata and the neotectonic activity symbols for remote sensing interpretation of mapping area according to the image characteristics of different geological bodies and field investigation. Combined with field geological survey, we investigated and analyzed the origin and distribution of sediments, the geomorphological features and zoning, active tectonic movement etc. in the study area. And through the UAV aerial flight data in 2015, we identified the neotectonics, active tectonics and initially determine the activity characteristics. The study show that high precision of remote sensing technology and UAV technology in Quaternary geological mapping in plain area has unique advantages, which is contributed to the rapid identification of Quaternary sedimentary types and the relative timing, and determine precisely the spatial position of the main fracture and the activity characteristics in the area. It increases the efficiency of mapping work and makes up for the limitations of surface survey.

Key words: SPOT-6; UAV; remote sensing; Quaternary geology; tectonic activity; Hetao Basin; Wuyuan