



遥感在大兴安岭牛汾台林场地区 1:5 万区调中的应用研究

林 敏^{1,2}

1. 中国地质大学,湖北 武汉 430074; 2. 福建省地质调查研究院,福建 福州 350013

摘 要: 内蒙古 1:5 万牛汾台林场等 4 幅区调项目分别采用资源三号卫星影像和 LandSat-8 多光谱数据进行遥感解译。经对比分析,资源三号卫星影像适合应用于地形地貌方面的解译,而 LandSat-8 多光谱数据则在线型构造、环状构造解译中起到了更大作用。解译出 29 条 NE、NW 向为主的线型构造,29 个与火山喷发活动相关的小型环形构造。经野外实地验证,其中 11 条线型构造发现断裂,11 个环形影像填绘出火山机构。解译了第四系、新近系五叉沟组、古生界、上侏罗统一白垩统和岩体的界线。经验证,五叉沟组以及第四系解译界线与野外调查界线大致吻合;解译的古生界地层界线与验证的早古生代海勒斯台构造混杂岩界线大致相同;岩体经验证为早白垩世正长花岗岩。

关键词: 遥感;线性构造;环状构造;区域地质调查;大兴安岭

APPLICATION OF REMOTE SENSING IN 1:50 000 REGIONAL GEOLOGICAL SURVEY OF NIUFENTAI FOREST FARM IN DAXINGANLING MOUNTAINS

LIN Min^{1,2}

1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, China

Abstract: The ZY-3 satellite images and LandSat-8 multispectral data are applied respectively in the remote sensing interpretation of 4 sheets of 1:50 000 regional survey projects including Niufentai Forest Farm in Inner Mongolia. Through comparative analysis of the above two sources of data, it is found that the former is suitable for interpretation of terrain and landform, while the latter plays a greater role in interpretation of linear and ring structures, with which 29 NE- and NW-oriented linear structures and 29 minor ring structures related to volcanic eruption are interpreted, as well as the boundaries of Quaternary, Neogene Wuchagou Formation, Paleozoic, Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata and rock mass. Faults are found in 11 linear structures, and volcanic edifices are delineated in 11 ring images through field verification. It is proved that the interpreted boundaries of Wuchagou Formation and Quaternary are roughly consistent with the boundaries by field survey. The interpreted Paleozoic boundaries almost coincide with the verified boundary of Early Paleozoic Hellestein tectonic melange. The rock mass is confirmed to be Early Cretaceous syenogranite.

Key words: remote sensing; linear structure; ring structure; regional geological survey; Daxinganling Mountains

0 引言

中国地质调查局 2016 年印发的《1:50 000 区域

地质调查工作指南(试行)》中明确指出:遥感影像是

区域地质调查的重要野外工作图件,遥感解译应贯穿

收稿日期:2020-07-14;修回日期:2021-01-11. 编辑:张哲.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“内蒙古 1:5 万牛汾台林场幅、青石砬子幅、迈斯很达坂幅、海勒斯台护林站幅区域地质调查”(DD20190039).

作者简介:林敏(1982—),男,博士研究生,高级工程师,主要从事区域地质调查和基础地质科研工作,通信地址 福建省福州市晋安区南平东路 815 号,

E-mail//5470155@qq.com

区域地质调查工作的全过程, 20 世纪 90 年代遥感技术已经在区域地质调查项目中开始推广应用^[1-14], 21 世纪以来, 遥感技术突飞猛进, 影像分辨率越来越高, 充分利用遥感影像和遥感解译对提高区域地质调查的质量和效率起到非常重要的作用^[15-34], 特别是在中、新生代火山岩区, 利用遥感影像圈定与火山喷发活动相关的环形构造、放射状构造, 对于火山机构的预判和发现起着至关重要的作用^[35-44]。

内蒙古 1:5 万牛汾台林场等 4 区调遥感解译工作采用 LandSat-8 多光谱数据和资源三号卫星数据, LandSat-8 多光谱数据影像编号为 LC81220272015291LGN00、LC81220282015291LGN00, 轨道号分别为 122/027、122/028 (行/列号), 影像采集时相分别为 2015/10/18T02:45:22.5500486Z、2015/10/18T02:45:46.4343781Z, 多光谱/全色波段的空间分辨率分别为 30/15 m, 影像中云、雪等的覆盖量小于全区面积的 5%, 质量精度满足要求, 资源三号卫星高空间分辨率遥感数据, 影像分辨率 2 m, 使用 3 个波段融合(红、绿、蓝), 数据位数: 8 bit, 影像中云、雪等的覆盖量小于全区面积的 1%, 质量精度满足要求。

研究区属林区, 森林覆盖率达 70% 以上, 植被具覆盖厚、分布广、发育密的特征, 对遥感岩性地层解译工作有较大影响, 但对遥感构造解译影响较小, 因此本次遥感解译主要从线性构造、环形构造、火山机构等方面着手, 利用高分辨率遥感数据进行解译工作, 同时, 遥感技术具有地理实体表示的多样化以及多属性、动态变化的特点, 地质信息丰富, 真实客观, 宏观性强, 本次遥感解译工作以人机交互解译为主, 通过目视解译和类比分析解译方法, 分别解译线性构造、环状构造、岩石地层、侵入岩的分布及相互关系, 详细勾绘地质体, 不但可以提高整个工作区地质调查成果质量, 并且可弥补路线地质调查过程中无法涉及地区的相关地质资料收集的不足。

1 线性构造遥感解译与验证

通过 LandSat-8 多光谱数据(采用 7/5/3 波段进行彩色合成), 解译出 29 条大小不等线性构造(图 1), 总体构造线方向以 NE、NW 向为主, NNE 向次之, 不同方向构造线切割关系主要表现为: NNE 向切割 NE 向断裂, NW 向切割 NE 向断裂, 但局部表现为 NNE 向断裂

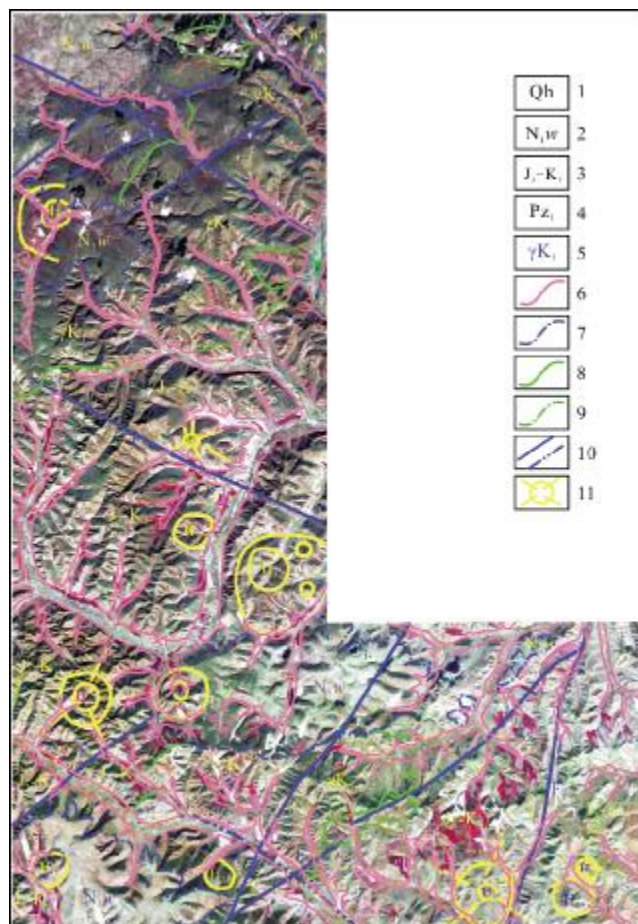


图 1 研究区遥感及解译图

(LandSat-8 影像, 7/5/4+8 波段组合)

Fig. 1 Remote sensing and interpretation images of the study area
(LandSat-8 image, 7/5/4+8 bands combination)

1—第四系(Quaternary); 2—新近系五叉沟组(Neogene Wuchagou fm.); 3—上侏罗统—下白垩统(Upper Jurassic-Lower Cretaceous); 4—下古生界(Lower Paleozoic); 5—早白垩世岩体(Early Cretaceous intrusive rock); 6—第四系界线(boundary of Quaternary); 7—五叉沟组界线(boundary of Wuchagou fm.); 8—岩体界线(boundary of intrusive mass); 9—大石寨组界线(boundary of Dashizai fm.); 10—断层/隐伏断层及编号(fault/concealed fault and number); 11—环状、放射状断裂及编号(ring, radial faults and number)

切割 NW 向断裂, 反映区内 NNE 向断裂多期活动的特点。

通过遥感数据处理、解译, 初步推断详勘目标断层的位置, 而后进行野外测量和验证, 验证手段主要为路线地质调查和剖面测制, 对遥感解译的 29 条主干断裂(F1—F29)进行了重点验证, 确定了各断层性质、空间展布、产状等, 共验证发现断层 11 条, 其中 10 条表现为张性断裂, 仅 F1 为逆断层, 多条断层宏观表现为密集节理带, 主要线型构造验证情况见表 1, 另外 18 条验证为河流、冲沟等负地形, 未见明显构造形迹。

表 1 研究区主要线性构造解译标志、影像特征及验证情况表

Table 1 Image features, interpretation signs and verification of major linear structures in the study area

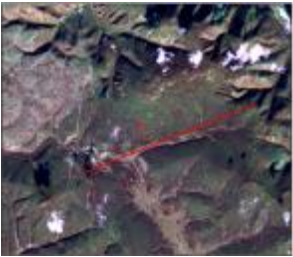
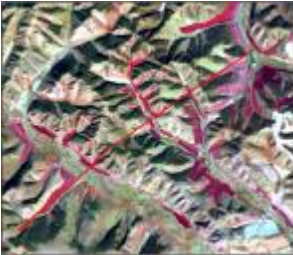
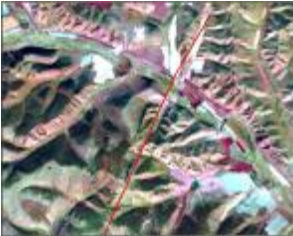
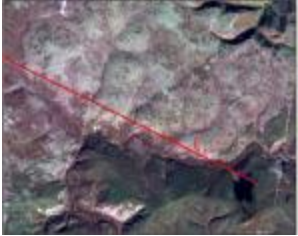
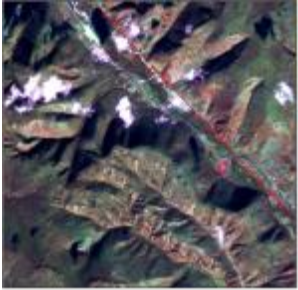
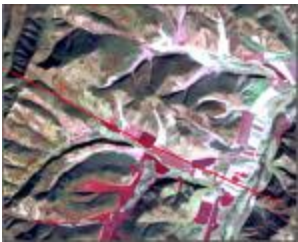
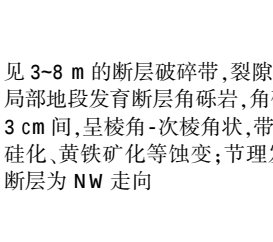
编号	位置	走向	长度/km	解译标志	影像特征	验证情况	野外特征
F1	大黑山北 东向断裂	NE	12.9	连续线状负地形，局部两 侧影像影纹截然不同，南 段经过水系转折点			发育一组 NE 向断层裂 隙，主断面产状 155° $\angle 70^{\circ}$ ，主断面两侧发育 平直密集节理带，10~ 20 条/m，主断面附近还 发育有牵引褶皱，显示 断层上盘相对上升，为 逆断层；岩石较破碎， 具硅化、黄铁矿化
F2	1245 高 地 -1293 高地北东 向断裂	NE	5.8	不连续线状负地形，可见 带状阴影，经过多个沟谷 转折点；北东段两侧影像 颜色、影纹特征截然不同			整体表现为。节理带， 产状为 315° $\angle 70^{\circ}$ ，节 理面发育褐铁矿化，显 示为张性断裂的特征
F3	大兴沟平 岗北东向 断裂	NE	11.4	不连续的线状负地形；南 段线状冲沟沿构造方向分 布，经过多个冲沟转折点， 两侧影像颜色、影纹特征 截然不同；北段沟谷沿构 造方向直线分布			可见断层发育，断层面 产状为 160° $\angle 60^{\circ}$ ，局 部发育节理，岩石裂隙 面发育褐铁矿化，表现 出张性断裂的特征
F8	迈斯很达 板北东向 断裂	NE	11.6	不连续的线状负地形，多 个冲沟沿构造直线分布， 中南部见水系转折点沿构 造方向分布，具线状阴影			断层宽约 2 m，产状为 145° $\angle 60^{\circ}$ ，岩石硅化强 烈，裂隙面见褐铁矿 化；北东段为狭长正长 斑岩脉；整体表现为张 性断裂特征
F12	果以锡热 扎拉格 - 乌兰白幸 北东向断 裂	NNE	21.8	不连续的线状负地形，南 西部尤为明显，多个沟谷、 水系转折点及山脊错断处 沿直线分布，具不连续线 状阴影			验证为石英脉，脉宽 2 m，长 10 m，走向 230° ， 走向沿山脊；石英脉较 纯净，未见蚀变；沿断 层裂隙上侵；断裂表现 为张性特征
F13	果以锡热 扎拉格 - 楚鲁呼卢 格扎拉格 北东向断 裂	NE	8.5	不连续的线状负地形，具 线状阴影，不同的沟谷沿 直线分布；南西段两侧影 像颜色、影纹特征不同；两 段被 F11、F12 所错断			可见宽约 3 m 的断裂， 石英脉沿断层裂隙贯 入，石英脉裂隙中可见 晶芽、晶簇发育；断层 产状为 120° $\angle 80^{\circ}$ ，断 层两侧见顺断层走向 的节理，显示张性断 裂特征

表 1 (续) Table 1 (Contiuned)

编号	位置	走向	长度/km	解释标志	影像特征	验证情况	野外特征
F14	冷根北北 东向断裂	NNE	19.7	明显线状负地形，多条水系沿构造方向分布，经过多个沟谷、水系拐点或端点，具不连续线状阴影，局部两侧影像颜色截然不同			为较多的浅肉红色花岗岩残块，宽度约 15 m，NE 走向，综合判断为张性断裂，花岗岩脉顺断裂裂隙上侵
F15	光顶山乘 降所 - 二 九七公里 大桥北西 向断裂	NW	6.7	连续的线性负地形，多个沟谷、水系拐点沿直线分布，两侧影像颜色、影纹特征截然不同，连续水系沿构造方向分布			可见多条裂隙，宽 20 cm，裂隙面中岩石蚀变强烈，为铁锰矿化、硅化等，裂隙面产状 235°∠75°；断层总体产状为 330°方向延伸，远观 NW 向的断层三角面发育，判断为顺沟谷发育的正断层
F17	二道沟平 岗北西向 断裂	NW	23.2	不连续线状负地形，多个冲沟端点沿构造方向分布，中段具线状阴影，北西段两侧影像颜色、影纹特征截然不同			岩石硅化强烈，根据硅化岩展布特征可知断层大致沿 335°方向延伸；局部可见断裂构造，产状为 20°∠67°，断层局部发育黄铁矿化等蚀变，综合判断为一正断层
F20	兴安岭平 岗 - 半截 沟北西向 断裂	NW	19.9	不连续线状负地形，具不连续线状阴影，中段线状水系沿构造方向分布，沿直线分布有多个线性冲沟拐点、冲沟分叉处等			见 3~8 m 的断层破碎带，裂隙面可见石英晶芽及晶簇，局部地段发育断层角砾岩，角砾约占 40%，砾径在 0.5~3 cm 间，呈棱角-次棱角状，带内及两侧岩石较破碎，具硅化、黄铁矿化等蚀变；节理发育，根据节理产状判断断层为 NW 走向
F22	海勒斯台 郭勒北西 向断裂	NW	20.9	连续线状负地形，不连续线状阴影，整体见连续的线状水系沿构造方向分布，两侧影像颜色、影纹特征截然不同			表现为一 NW 向第四系冲沟，临近山丘可见较为明显的断层面，为舒缓波状，产状为 189°∠52°，两侧岩石可见明显的错动，为上盘下降，判断断层性质为正断层；其与第四系沟的走向一致，因而判断该断裂顺第四系发育

2 环形构造遥感解译与验证

通过遥感解译，在研究区共解译出 29 个与火山喷发活动相关的小型环形构造（见图 1），区内与火山机构相关的环形构造形态复杂多变，既有单个的环形构造，也有两个或多个规模相近或悬殊甚大的环形构造互相作用形成的多环复合形态，包括切接式、套接式、

大环包含小环、多环交接式或多环串珠状、链状。此外，与环形构造配套的放射性断裂亦发育，局部可见破碎火山口在地貌上呈凹陷，火山机构形成的火口湖、围绕环形断裂的小型水洼地或湖泊、环形断裂造成的河流弯曲环绕以及多个或多期次火山喷发形成多个环形构造叠加的复杂形态在区内亦常见。

研究区环状断裂、弧形断裂及放射状断裂较发育，且时常相伴产出，与火山机构关系密切，多分布于火山口边缘。岩层产状的急变、节理化带、挤压破碎、断层角砾、断层泥、构造透镜体、牵引构造、小褶皱、擦痕等

表 2 研究区环形构造解译标志、影像特征及验证情况表

Table 2 Image features, interpretation signs and verification of ring structures in the study area

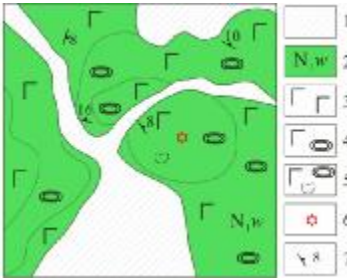
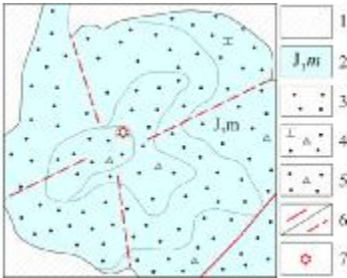
编号	环形直径/km	解译结果	影像特征	验证结果	说明
H3	4.5	外层为一弧形断裂,内层为环形断裂,平面呈近圆形,西部被一线性断裂切断,主要由断续弧形影纹和水系组成,放射状断裂不发育			1—其他填图单位; 2—中新统五叉沟组; 3—玄武岩; 4—气孔状玄武岩; 5—气孔杏仁状玄武岩; 6—火山喷发中心; 7—产状 为火山喷发中心,主体地层为五岔沟组,火口被气孔杏仁状玄武岩充填,周围为环状分布的气孔状玄武岩,外围为玄武岩,环状、放射状构造均不发育
H8	0.9	仅为单层环形构造,放射状断裂较发育,主要由断续弧形冲沟、影纹组成			1—其他填图单位; 2—上侏罗统满克头鄂博组; 3—流纹质(晶屑/玻屑)凝灰岩; 4—粗面质含角砾凝灰岩; 5—含角砾(晶屑/玻屑)凝灰岩; 6—断层/推测断层; 7—火山喷发中心 为火山喷发中心,主体地层为满克头鄂博组,火口为安山岩,周围为弧形分布流纹含角砾晶屑凝灰岩,外围为环状展布的爆发相岩石,产状围斜内倾;放射状断裂表现为放射状的沟谷
H10	2.5	环形断裂,平面为近圆形,单层环状构造,主要由断续出露的弧形影纹、色差界面组成			1—其他填图单位; 2—下白垩统玛尼吐组; 3—粗面质(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—粗面质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 5—粗面岩; 6—沉积岩; 7—火山喷发中心/产状 为火山喷发中心,主体地层为玛尼吐组,火口为粗面岩,周围环形分布粗面质含角砾晶屑熔结凝灰岩,外围发育爆发相、喷溢相岩石,呈环形或弧形展布,围斜内倾
H12	6.5	环形断裂,平面上为双层环状,外环内套合两个小型环形断裂,内部被线性构造切断,主要为断续弧形冲沟组成,放射状构造不发育			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)凝灰岩; 5—流纹岩; 6—沉积岩; 7—火山喷发中心/产状 为火山喷发中心,主体地层为白音高老组,火口被流纹质角砾晶屑凝灰岩填充,周围环状分布流纹质含角砾晶屑熔结凝灰岩,外围主要发育爆发相岩石,西部环状为一火山喷发中心,火口为含角砾流纹岩充填,周围环状分布喷溢相流纹岩;放射状构造不发育

表 2 (续 1) Table 2 (Contiuned 1)

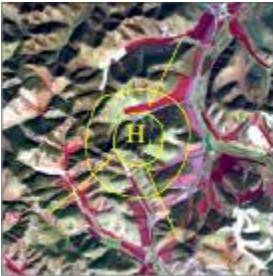
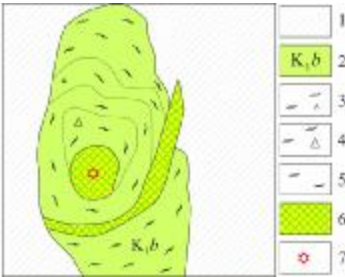
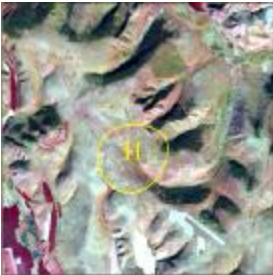
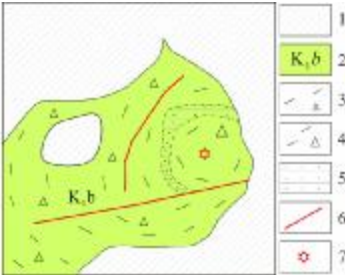
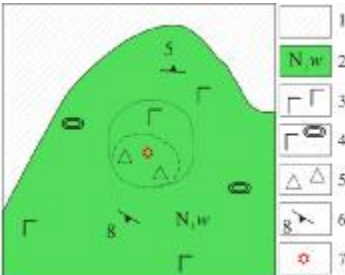
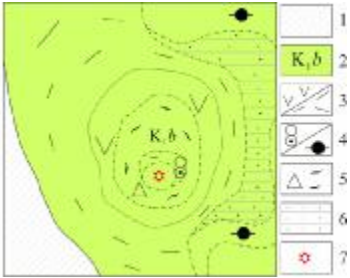
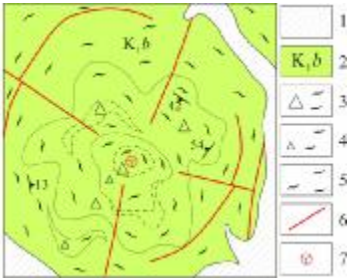
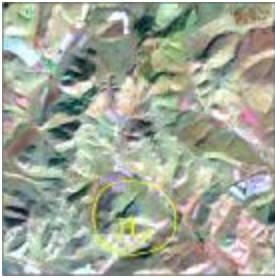
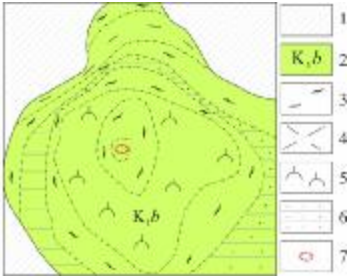
编号	环形直径/km	解译结果	影像特征	验证结果	说明
H17	3.3	环形断裂,平面上为两个同心圆形,主要由断续出露的弧形水系、冲沟、色差界面组成,放射状构造较发育			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—英安岩/流纹岩; 5—安山岩/断层; 6—沉积岩; 7—破火山口/产状 为破火山,主体地层为白音高老组,火口外围喷溢相呈环形展布,环状、放射状断裂发育
H18	3.2	环形断裂,平面上为两个同心圆形,由环形沟谷组成,放射状构造不发育			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 5—流纹质(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 6—潜火山岩; 7—火山喷发中心 为火山喷发中心,主体地层为白音高老组,火口外围爆发相呈环形、弧形展布,火山通道被潜火山岩相正长斑岩侵入,附近为弧形流纹质晶屑熔结凝灰岩,外围环形流纹质含角砾晶屑熔结凝灰岩,发育环形冲沟;放射性构造不发育
H23	2.2	环形断裂,平面形态近圆形,主要由断续出露的弧形水系、冲沟、色差界面组成			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—含角砾流纹岩; 4—角砾流纹岩; 5—沉积岩; 6—断层; 7—火山喷发中心 火山喷发中心,主体为白音高老组,火口被角砾流纹岩充填,附近为环形凝灰质砾岩,外围环形角砾流纹岩,发育弧形断裂和环形冲沟;放射性构造不发育
H24	1.8	环形断裂,近圆形,由环形沟谷组成,放射状构造不发育			1—其他填图单位; 2—中新统五岔沟组; 3—玄武岩; 4—气孔状玄武岩; 5—火山角砾岩; 6—产状; 7—火山喷发中心 火山喷发中心,主体地层为五岔沟组,火口外围喷溢相呈环形、弧形展布,火山通道被火山角砾岩占据,附近为弧形玄武岩,外围环形气孔状玄武岩;放射状构造较不发育

表 2(续 2) Table 2 (Contiuned 2)

编号	环形直径/km	解译结果	影像特征	验证结果	说明
H25	1.2	环形构造,平面形态近圆形,放射状构造较发育			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—安山岩/流纹岩; 4—石泡/黑曜岩; 5—流纹质角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 6—沉积岩; 7—火山喷发中心 火山喷发中心,主体为白音高老组,火口为石泡流纹岩,附近为环形流纹质角砾晶屑熔结凝灰岩,外围环形安山岩、流纹岩、弧形分布凝灰质砂岩,发育环形冲沟,放射性构造不发育
H28	3.8	环形构造,平面形态近圆形,放射状构造较发育,南东侧和南西侧被线性构造夹持			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—流纹质角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—流纹质含角砾(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 5—流纹质(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 6—断层; 7—锥状火山 为锥状火山,主体地层为白音高老组,火口外围爆发相、喷溢相呈环形、弧形展布,火山通道被流纹质集块角砾晶屑熔结凝灰岩占据,环状、放射状构造较为发育 ^[45]
H29	2.5	环形构造,平面形态近圆形,放射状构造不发育,北东侧被线性构造切断			1—其他填图单位; 2—下白垩统白音高老组; 3—流纹质(晶屑/玻屑)熔结凝灰岩; 4—流纹岩; 5—黑曜岩; 6—沉积岩; 7—破火山 为破火山,主体地层为白音高老组,火口被黑曜岩充填,为破火山口,周围环形分布流纹质晶屑熔结凝灰岩和弧形分布的黑曜岩,外围弧形分布爆发相、喷溢相岩,围斜内倾

可作为判断依据.对 29 个环形构造进行了野外实地验证,其中 H3、H8、H10、H12、H17、H18、H23、H24、H25、H28、H29 等 11 个环形影像验证为火山机构.野外验证详情见表 2.

3 岩石地层单元和侵入岩遥感解译与验证

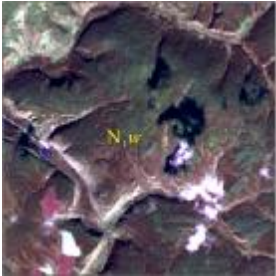
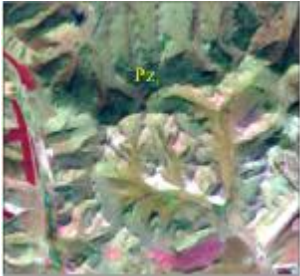
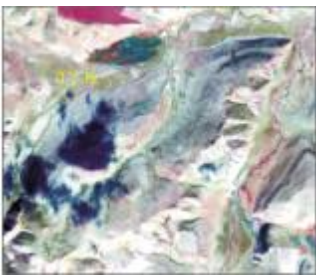
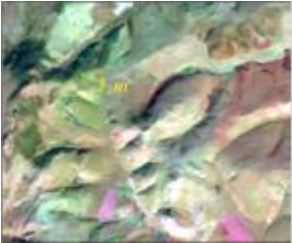
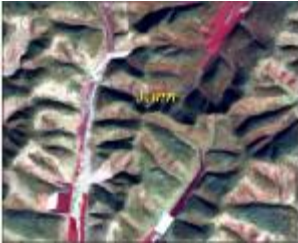
由于研究区基岩出露不佳,草场、植被等覆盖较严重,对遥感岩性地层解译工作有较大影响,因此本次遥感解译主要解译了第四系、新近系五叉沟组、古生界及上侏罗统一下白垩统地层的界线,满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组的界线在遥感图上无法解译.以下仅对本区出露较好的岩石地层单元作简单介绍.

遥感解译标志是某一填图单元具代表性的遥感影像特征,是开展全区地质解译的基础和标准,在整个解译工作中具有控制和指导作用.不同的填图单元由于岩石组合不同,影像特征也在色调、形态、纹理、地貌以及水系上均有不同的特点,可建立不同的遥感解译标志.以 LandSat-8 7/5/4-8 波段经 PC 融合的假彩色遥感影像底图为基准影像,通过色、形、纹、貌等特征建立了区内出露较好的岩石地层单元和侵入岩的遥感解译标志(表 3).

经验证,测区内新近系五叉沟组(N_{1w})以及第四系冲洪积物解译界线与野外调查界线大致吻合;解译古生界地层界线与验证的早古生代海勒斯台构造混杂

表 3 研究区地层岩石单元及侵入岩遥感解译标志

Table 3 Remote sensing interpretation marks of stratigraphic units and intrusive rocks in the study area

遥感影像				
	中新统五叉沟组(N _{2w}):基岩浅棕褐色,块状影纹,沟谷发育较短小,且切割较浅	海勒斯台地区古生代地层:浅棕褐色、灰绿色,块状影纹,多发育树枝状水系,植被覆盖厚,沟谷长短不一	望远山地区古生代地层:基岩浅灰色、褐色,块状影纹,发育树枝状、水系,沟谷切割较浅	早白垩世二长花岗岩:基岩呈灰褐色,块状影纹,舌状形态,树枝状水系,沟谷较细、短小且切割不深
遥感影像				
	早白垩世正长花岗岩:基岩呈褐红色,块状影纹,树枝状、羽状水系发育,沟谷切割较深,长短不一	上侏罗统一下白垩统地层:基岩灰色、棕褐色、褐黄色,斑块状影纹,多发育树枝状、羽状水系,沟谷较长,切割较深		

岩界线大致相同;中生界上侏罗统满克头鄂博组(J_{3m})、玛尼吐组(J_{3mn}),中生界下白垩统白音高老组(K_{1b})在遥感影像上无法区分。另外,早白垩世岩体经验证为早白垩世正长花岗岩。

4 地形地貌的解译

传统的区域地质调查项目一般采用 20 世纪测绘的地形图。此类地形图已经有几十年的历史了,图中的村庄和道路信息变化较大,老旧的信息已经很难满足现在智能化填图的要求。近年来国家发射了一系列高空间分辨率的遥感卫星,本次工作采用的资源三号卫星影像分辨率为 2 m,可以用来提取道路、水系、等高线、村庄、山峰等地形地貌的数据(表 4)。

5 结论

(1)运用 LandSat-8 多光谱数据解译出 29 条大小

不等断裂构造,总体构造线方向以 NE、NW 向为主,NNE 向次之。野外验证发现断层 11 条,另外 18 条验证为河流、冲沟等负地形。

(2)解译出 29 个与火山喷发活动相关的小型环形构造。野外验证发现 11 个火山构造,整体环形构造在遥感平面图上形态呈圆形,由弧形影纹、色差界面或环形沟谷、水系组成,围绕环形构造局部发育线状影纹或水系构成的放射状断裂组合。

(3)解译了第四系、新近系五叉沟组、古生界及上侏罗统一下白垩统地层的界线。经实地调查验证,五叉沟组以及第四系解译界线与野外调查界线大致吻合;解译古生界地层界线与验证的早古生代海勒斯台构造混杂岩界线大致相同;早白垩世岩体经验证为早白垩世正长花岗岩。

(4)资源三号卫星高精度遥感影像适用于提取道路、水系、等高线、村庄、山峰等地形地貌的数据。

表 4 研究区地形地貌类型遥感影像特征及解译情况

Table 4 Remote sensing image features and interpretation of topographic types in the study area

类型	遥感影像	解译情况
道路		
单线水系		
面状水域		
村庄等		
山峰		

(5)通过内蒙古 1:5 万牛汾台林场等 4 幅区调遥感解译验证,资源三号卫星影像适合应用于地形地貌方面的解译,而 LandSat-8 多光谱数据(采用 7/5/3 波段进行彩色合成)在解译线型构造和环状构造方面表现突出,能达到区调工作遥感先行的目的。

参考文献(References):

[1]陈昌礼. 全面推广遥感技术,加速 1:5 万区域地质调查进程[J]. 国土资源遥感,1991(2): 1-6.
Chen C L. Spreading remote sensing technology overall and speeding up

1:50000 regional geological survey[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1991(2): 1-6.
[2]周维屏. 1:50 000 区调地质填图新方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.
Zhou W P. The new methods of 1:50 000 regional geological mapping [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 1993.
[3]陈松岭. 深层断裂构造的遥感研究及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 1995, 19(3): 258-265.
Chen S L. The application of remote sensing in identifying basement faults and prospecting[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1995, 19(3): 258-265.
[4]张景发,王四龙. 鲜水河活动断裂带 TM 图像中雪及其影响的抑制[J]. 国土资源遥感,1995(2): 58-63.
Zhang J F, Wang S L. The methods of dispelling snow in TM image along Xianshuihe active fault zone[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1995(2): 58-63.
[5]张景发,王四龙,侯孝强. 活动断裂带中遥感数字图像处理技术——以鲜水河活动断裂带为例[J]. 地震地质,1996, 18(1): 1-16.
Zhang J F, Wang S L, Hou X Q. The technique of TM data image processing in the investigation of active faultzone: Xianshuihe active fault zone as an example[J]. Seismology and Geology, 1996, 18(1): 1-16.
[6]于学政,刘刚,李述靖. 遥感技术在内蒙古苏尼特左旗 1:5 万区调中的应用[J]. 现代地质,1995, 9(2): 254-260.
Yu X Z, Liu G, Li S J. Application of remote sensing technology to 1:50 000 regional geological surveying in Sonid Zuoqi area, Inner Mongolia[J]. Geoscience, 1995, 9(2): 254-260.
[7]刘登忠. 遥感在天全、灵关地区区调中的应用[J]. 成都理工学院学报,1995, 22(2): 52-56.
Liu D Z. Application of remote sensing to 1:50 000 regional geological mapping in Tianquanand Lingguan, Sichuan[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1995, 22(2): 52-56.
[8]刘登忠. 陆相红层盆地 1:5 万区调中的遥感应用研究[J]. 国土资源遥感,1996(2): 45-50.
Liu D Z. Application of remote sensing to 1:50 000 areal geological mapping in continental red bed basin[J]. Remote Sensing for Land &Resources, 1996(2): 45-50.
[9]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 G, Yu X Z. The method of 1:50 000 geological mapping using remote sensing technology[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1997(1): 14-19.
[10]刘登忠,李斌山. 四川南江地区 1:50 000 遥感地质填图效果评价[J].成都理工学院学报,1997, 24(2): 108-112.
Liu D Z, Li B S. Comparative evaluation of remote sensing to 1:50 000 regional geological mapping in Nanjiang, Sichuan [J].

- Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24(2): 108–112.
- [11]潘宝玉, 王贵祥. 3S 技术集成及其在地质领域中的应用[J]. 山东地质, 1998, 14(4): 50–55.
- Pan B Y, Wang G X. Threes technical integration and their application in geological field[J]. Geology of Shandong, 1998, 14(4): 50–55.
- [12]马建文, 朱章森, 杨武年, 等. 遥感数字图像处理在高山积雪覆盖地区增强成矿岩石的纹理信息[J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(S1): 17–21.
- Ma J W, Zhu Z S, Yang W N, et al. The texture extraction of mineral bearing rocks using TM image data in high mountain areas with snow cover[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25(S1): 17–21.
- [13]周亮平, 吴淦国. 冀西北下双台地区构造及金矿找矿标志的遥感影像特征[J]. 国土资源遥感, 1998(3): 83–85, 96.
- Zhou J P, Wu G G. The image feature of structure and gold-ore marks of Xia Shuang Tai area of Hebei Province of China[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1998(3): 83–85, 96.
- [14]刘登忠. 试论遥感技术在红层 1:50 000 区调填图中的作用[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(2): 119–123.
- Liu D Z. A Discussion on the role of remote sensing in 1:50 000 geological mapping in red beds[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(2): 119–123.
- [15]张洪涛, 王平. 论地质调查中的科技进步与创新[J]. 地质通报, 2002, 21(2): 49–54.
- Zhang H T, Wang P. Scientific and technological progress and innovation in the geological survey of China[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(2): 49–54.
- [16]隋志龙, 杨巍然, 张利华. 西藏定结幅区调工作中的断裂构造遥感研究方法探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(4): 452–458.
- Sui Z L, Yang W R, Zhang L H. Discussion on fault research method using remote sensing technology: A example from Dingjie regional geological survey, Xizang[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 26(4): 452–458.
- [17]隋志龙, 李德威, 杨巍然, 等. 藏南拉轨岗日变质核杂岩带的 TM 影像特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(6): 680–684.
- Sui Z L, Li D W, Yang W R, et al. Characteristic from TM image of Laguigangri metamorphic core complex zone in southern Tibet[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2003, 28(6): 680–684.
- [18]濮国梁, 杨武年, 徐凌, 等. 数字区调新技术新方法——RS_Ortho Mapper 系统研制开发[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(22): 53–55, 64.
- Pu G L, Yang W N, Xu L, et al. New method and technology in digital region geological survey: Development of RS_OrthoMapper system[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(22): 53–55, 64.
- [19]杨武年, 廖崇高, 濮国梁, 等. 数字区调新技术新方法——遥感图像地质解译三维可视化及影像动态分析[J]. 地质通报, 2003, 22(1): 60–64.
- Yang W N, Liao C G, Pu G L, et al. A new method for digital regional geological survey: 3D visualization of geological interpretation of remote sensing images and image dynamical analysis[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(1): 60–64.
- [20]王润生, 熊盛青, 聂洪峰, 等. 遥感地质勘查技术与应用研究[J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1699–1743.
- Wang R S, Xiong S Q, Nie H F, et al. Remote sensing technology and its application in geological exploration [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1699–1743.
- [21]王正海, 胡光道, 刘星. 基于影像的多源地学数据融合处理及应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(4): 617–620.
- Wang Z H, Hu G D, Liu X. Merging and applications of multi-sources geological data based on image[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(4): 617–620.
- [22]张克信, 孙贇, 于庆文, 等. 基于数字填图系统的遥感等数据在构造-地层分区和地层单位识别中的应用——以 1:25 万民和县幅、临夏市幅和定西市幅数字地质填图为例[J]. 地质通报, 2008, 27(7): 965–973.
- Zhang K X, Sun Z, Yu Q W, et al. Application of remote sensing data to the tectono-stratigraphic division and recognition of stratigraphic units based on the digital mapping system: A case study of 1:250 000 digital geological mapping of the Minhe County, Linxia City and Dingxi City sheets, northwestern China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(7): 965–973.
- [23]田莉. 地质遥感中岩性的识别研究[J]. 科技传播, 2010(19): 220, 223.
- Tian L. The identification research of lithology in the remote sensing geology[J]. Public Communication of Science & Technology, 2010(19): 220, 223.
- [24]赵珍梅, 马伟, 王润生. 三种高保真遥感影像融合方法效果评价与分析[J]. 地质与勘探, 2010, 46(4): 705–710.
- Zhao Z M, Ma W, Wang R S. Evaluation and analysis of three methods of fusing remote sensing images with high fidelity of spectral information[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(4): 705–710.
- [25]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 Z C, Guo F S, Liu L Q, et al. Application of the remote sensing technology in regional geological survey: A case study in Tuoshang, Jiangxi Province by 1:50 000 [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2013, 36(4): 364–374.
- [26]吴志春, 郭福生, 刘林清, 等. 应用遥感技术解译相山居隆庵地区水系及线性构造[J]. 东华理工大学学报(社会科学版), 2013, 32

- (3): 378-383.
- Wu Z C, Guo F S, Liu L Q, et al. Application of remote sensing technology to interpreting the river system and linear structure of Julong'an area in Xiangshan[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2013, 32(3): 378-383.
- [27] 闫颖, 陈有炘, 孟勇, 等. 遥感技术在东天山大黑山地区地质填图中的应用[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 231-237.
- Yan Y, Chen Y X, Meng Y, et al. Application of remote sensing technique in the geologic mapping of Daheishan region, eastern Tianshan[J]. Northwestern Geology, 2015, 48(2): 231-237.
- [28] 张志军, 刘世华, 孔迪, 等. 北巴颜喀拉山 1:5 万区域地质调查中的遥感解译应用[J]. 现代地质, 2016, 30(5): 1141-1149.
- Zhang Z J, Liu S H, Kong D, et al. Application of remote sensing interpretation on 1:50 000 regional geological survey of North Bayan Hara Mountain[J]. Geoscience, 2016, 30(5): 1141-1149.
- [29] 赵炜, 方宏. 高分辨率影像数据在地质构造解译中的应用——以青海省俄昌公仁地区 1:50 000 区调应用为例[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(3): 423-429.
- Zhao W, Fang H. High resolution image data in the application of the geological structure interpretation: For example Echang of Qinghai Province and the kernel region 1:50 000 area of application[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 38(3): 423-429.
- [30] 山克强, 潘明, 林宇. 无人机航空遥感地质解译在岩石地层单元识别中的应用——以 1:50 000 西南岩溶区填图试点为例[J]. 地质力学学报, 2016, 22(4): 933-942.
- Shan K Q, Pan M, Lin Y. Application of unmanned air vehicle (UAV) remote sensing data in the recognition of stratigraphic units: A case study of 1:50 000 pilot geological mapping of karst area in southwestern China[J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(4): 933-942.
- [31] 李志龙, 王文博. 遥感地质信息解译工作方法研究[J]. 四川有色金属, 2018(2): 9-11.
- Li Z L, Wang W B. Research on interpretation of remote sensing geological information[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2018(2): 9-11.
- [32] 冯雨林, 杨佳佳, 王晓光. 基于 GIS 技术的水土流失遥感定量评价研究进展[J]. 地质与资源, 2018, 27(3): 279-283.
- Feng Y L, Yang J J, Wang X G. Research progress of quantitative evaluation on water and soil loss by remote sensing based on GIS[J]. Geology and Resources, 2018, 27(3): 279-283.
- [33] 卢辉雄, 聂振龙, 刘敏, 等. 基于 RS 和 GIS 的石羊河流域近 50 年土地覆被类型变化研究[J]. 地质与资源, 2020, 29(2): 165-171, 179.
- Lu H X, Nie Z L, Liu M, et al. Research on land cover changes in Shiyang River basin in recent 50 years based on RS and GIS[J]. Geology and Resources, 2020, 29(2): 165-171, 179.
- [34] 林敏. 地质测绘中遥感技术的应用探索[J]. 四川水泥, 2020(9): 57-58.
- Lin M. Application of remote sensing technology in geological surveying and mapping[J]. Sichuan Cement, 2020(9): 57-58. (in Chinese)
- [35] 卢清地. “火山构造-岩性岩相-火山地层”填图方法研究报告[M]. 福州: 福建省地图出版社, 2004.
- Lu Q D. Research report on mapping method of “volcanic structure-lithology lithofacies-volcanic stratigraphy”[M]. Fuzhou: Fujian Map Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [36] 梁涛, 罗照华, 李文韬, 等. 托云火山群的火山地质特征及其构造意义[J]. 新疆地质, 2005, 23(2): 105-111.
- Liang T, Luo Z H, Li W T, et al. Geologic features and tectonic implications of the Tuyon volcano group[J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(2): 105-111.
- [37] 许建东, 栾鹏, 樊笑英, 等. 基于遥感影像光谱与纹理分析的地物分类——以长白山天池火山地区为例[J]. 地震地质, 2009, 31(4): 607-616.
- Xu J D, Luan P, Fan X Y, et al. Analysis of spectrum and texture information on Changbaishan Tianchi volcano caldera and its application[J]. Seismology and Geology, 2009, 31(4): 607-616.
- [38] 傅树超, 卢清地. 陆相火山岩区填图方法研究新进展——“火山构造-岩性岩相-火山地层”填图方法[J]. 地质通报, 2010, 29(11): 1640-1648.
- Fu S C, Lu Q D. New progress of mapping method in the nonmarine volcanic terrain: “Volcanic construction-lithologic rock facies-volcanic strata” mapping method[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(11): 1640-1648.
- [39] 张柳毅, 李霓, 赵勇伟, 等. 腾冲火山区地形地貌特征及断裂制约关系——卫片与 DEM 解译的认识[J]. 地震地质, 2012, 34(4): 755-767.
- Zhang L Y, Li N, Zhao Y W, et al. Geomorphic characteristics and fault restriction in the Tengchong volcanic region: Interpretation based on DEM and TM data[J]. Seismology and Geology, 2012, 34(4): 755-767.
- [40] 卢清地. 陆相火山地层研究方法——“火山构造-岩性岩相-火山地层”三位一体[J]. 福建地质, 2014, 33(4): 251-261.
- Lu Q D. Process of nonmarine volcanic sequence research “volcanic structure-lithologic lithofacies-volcanic sequence” trinity research process[J]. Geology of Fujian, 2014, 33(4): 251-261.
- [41] 白卉, 曲洪峰. 遥感 DEM 分析在新生代火山群提取和识别中的应用[J]. 吉林地质, 2017, 36(3): 55-57.
- Bai H, Qu H Y. Application of remote sensing in the extraction and identification of Cenozoic volcano group based on DEM analysis[J]. Jilin Geology, 2017, 36(3): 55-57.

- horizontal flows[J]. Journal of Hydraulic Research, 1967, 5(2): 97-117.
- [13]周哲睿, 刘姣, 吴浩力, 等. 基于 MIKE21 模型的水交换数值模拟研究[J]. 陕西水利, 2021, 17(4): 17-20.
- Zhou Z R, Liu J, Wu H L, et al. Numerical simulation of water exchange based on MIKE 21 model[J]. Shaanxi Water Resources, 2021, 17(4): 17-20. (in Chinese)
- [14]秦成栋, 钱鞠, 李明都, 等. 基于 MIKE21 模型的宋家湾水库水环境影响数值模拟[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(2): 1-10, 19.
- Qin C D, Qian J, Li M D, et al. Numerical simulation of water environmental impact of Songjiawan Reservoir based on MIKE 21 model[J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2021, 57(2): 1-10, 19. (in Chinese)
- [15]Wang Q, Guo X Y, Takeoka H. Seasonal variations of the Yellow River plume in the Bohai Sea: A model study[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113(C8): C08046.
- [16]袁本坤, 黄蕊, 商杰, 等. 基于岸基观测数据的渤海沿岸海域表层温盐特征分析[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(12): 31-34.
- Yuan B K, Huang R, Shang J, et al. Analysis of surface thermohaline characteristics in Bohai Sea based on shore-based observation data[J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(12): 31-34. (in Chinese)
- [17]朱亮, 刘景涛, 杨明楠, 等. 1998 年以来兰州市地下水环境变化及驱动因素[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1677-1687.
- Zhu L, Liu J T, Yang M N, et al. Changes and driving factors of groundwater environment in Lanzhou since 1998 [J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1677-1687.
- [18]宫兴梅. 辽宁省铁甲水库入库口水动力场特征数值模拟研究[J]. 中国水能及电气化, 2020(12): 18-20, 17.
- Gong X M. Numerical simulation study of inlet hydrodynamic field characteristics of Tiejia Reservoir in Liaoning Province [J]. China Water Power & Electrification, 2020(12): 18-20, 17.
- [19]王俊琿, 侯精明, 王峰, 等. 洪涝过程模拟及三维实景展示方法研究[J]. 自然灾害学报, 2020, 29(4): 149-160.
- Wang J H, Hou J M, Wang F, et al. Study on flood process simulation and 3D scene display method[J]. Journal of Natural Disasters, 2020, 29(4): 149-160.
- [20]王晓文. 水质数值模型在浑河流域水量水质模拟中的应用[J]. 地下水, 2021, 43(1): 69-72.
- Wang X W. Application of water quality numerical model in simulation of water quantity and quality in Hunhe River Basin[J]. Ground Water, 2021, 43(1): 69-72. (in Chinese)

(上接第 652 页/Continued from Page 652)

- [42]林敏. 福建寿山火山喷发盆地火山作用特征及与叶蜡石成矿关系探讨[J]. 福建地质, 2017, 36(4): 251-261.
- Lin M. Study on the characteristics of volcanism of volcanic eruptive basins and the relation to pyrophyllite ore in Shoushan area, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 2017, 36(4): 251-261.
- [43]林敏, 卢清地, 李玉娟, 等. 陆相火山岩三重填图方法研究进展及应用示例[J]. 福建地质, 2018, 37(2): 165-180.
- Lin M, Lu Q D, Li Y J, et al. Research progress and application examples of ternary mapping of continental volcanic rocks[J]. Geology of Fujian, 2018, 37(2): 165-180.
- [44]马雨轩, 李江海, 陈耀华. 大兴安岭中段阿尔山地区第四纪火山地貌特征及其构造意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 289-298.
- Ma Y X, Li J H, Chen Y H. Geomorphological characteristics of the Quaternary volcanoes and their tectonic implications in Aershan region, central Greater Khingan Range [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2019, 55(2): 289-298.
- [45]Lin M, Yu S Y, Ma C Q, et al. Characteristics of the Hailesitai volcanic province, Inner Mongolia, and inferred magma source and tectonic setting[J]. Geological Journal, 2020, 55(10): 6841-6859.