



引文格式: 张成信, 任永健, 金松, 等. 物化探综合找矿方法在内蒙古喀喇沁旗大西沟萤石矿找矿中的应用[J]. 西北地质, 2024, 57(4): 135–143. DOI: 10.12401/j.nwg.2024051

Citation: ZHANG Chengxin, REN Yongjian, JIN Song, et al. Application of Comprehensive Geophysical and Geochemical Exploration Method in the Daxigou Fluorite Deposit, Kalaqin banner, Inner Mongolia[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(4): 135–143. DOI: 10.12401/j.nwg.2024051

物化探综合找矿方法在内蒙古喀喇沁旗大西沟萤石矿找矿中的应用

张成信^{1,2}, 任永健^{1,2}, 金松^{1,2}, 魏龙飞², 王艳超², 赵寒², 代小光²

(1. 河北省战略性关键矿产研究协同创新中心, 河北 石家庄 050031; 2. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101)

摘要: 笔者以大西沟热液裂隙充填型萤石矿床为例, 结合地质调查, 联合应用 1:5 万水系沉积物测量、1:1 万土壤地球化学剖面、1:1 万高精度磁测、1:1 万高密度电阻率剖面和 1:1 万电阻率剖面综合技术方法开展了萤石找矿勘查的有效性试验研究。结果表明: 1:5 万水系沉积物测量工作可以缩小找矿目标区域; 高精度磁测、高密度电阻率和视电阻率联合剖面物探技术方法相结合可有效地探测控矿断裂浅地表的空间延伸情况及规模; 土壤地球化学剖面圈出的高 F 异常可有效地识别断裂构造的含矿性。将上述物探和化探综合技术方法应用到大西沟矿床外围, 探测到控矿构造北西延伸至画匠沟村以北 1000 m 以上, 并在地表发现两处矿化露头。对矿化露头经地表槽探工程揭露, 浅地表矿体达工业规模, 这为矿山外围深部勘查扩增工作提供了依据。同时该方法组合可为区域热液裂隙充填型萤石矿找矿工作提供一定的借鉴。

关键词: 大西沟; 萤石矿; 物化探; 应用

中图分类号: P631

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)04-0135-09

Application of Comprehensive Geophysical and Geochemical Exploration Method in the Daxigou Fluorite Deposit, Kalaqin banner, Inner Mongolia

ZHANG Chengxin^{1,2}, REN Yongjian^{1,2}, JIN Song^{1,2}, WEI Longfei², WANG Yanchao², ZHAO Han², DAI Xiaoguang²

(1. Hebei Province Collaborative Innovation Center for Strategic Critical Mineral Research, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2. Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to test the effectiveness of fluorite mineralization prospecting, we conducted geological survey, 1:50 000 stream sediment survey, 1:10 000 soil geochemical profile, 1:10 000 high-precision magnetic survey, 1:10 000 high-density resistivity profile and 1:10 000 resistivity profile in the Daxigou hydrothermal fissure filling fluorite deposit of Inner Mongolia. The results show that the 1:50 000 stream sediment sur-

收稿日期: 2024-03-28; 修回日期: 2024-05-28; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 河北省战略性关键矿产研究协同创新中心开放基金课题“冀北隆化-围场一带萤石矿成矿规律研究及勘查标识体系探索”(HGUXT-2023-3), 中国地质调查局项目“东部地区硼磷萤石等重要非金属矿产调查”(DD20160057)、“内蒙古喀喇沁旗大西沟一带萤石矿资源调查”(DD20160057-07)联合资助。

作者简介: 张成信(1987-), 男, 硕士, 主要从事固体矿产调查、勘查与研究工作。E-mail: 702577063@qq.com。

vey can reduce the target area of prospecting. The geophysical exploration combination of high-precision magnetic survey, high-density resistivity and apparent resistivity profile can effectively detect the spatial extension and scale of surface ore-controlling faults. In addition, the high F anomalies in the soil geochemical profile can effectively identify the mineralization potential of the fault structure. By applying the combined geophysical and geochemical exploration techniques to the periphery of the Daxigou deposit, it is suggested that the ore-controlling structure extends to the northwest of more than 1 000 m to the north of Huajianggou Village and two mineralized outcrops were found on the surface. On the basis of the surface trough exploration, it is revealed that the shallow surface ore body reached the industrial scale, which provided guidance for deep exploration in the periphery. Furthermore, the here utilized exploration methods can provide some reference for prospecting of regional hydrothermal fissure filling fluorite deposits.

Keywords: Daxigou; fluorite; geophysical and geochemical exploration; application

萤石是战略新兴产业发展中重要的基础原料矿产,需求日益增加,保障程度亟待提高。随着地质勘查开采程度的提高,萤石矿地表露头日益减少,浅覆盖和隐伏区深部找矿是目前地质工作的重点和难点。物化探方法因其具有投资少、时间短、效益高的特点,在找矿工作中一直扮演着重要的角色,尤其在金属矿产找矿中发挥了“地质找矿,物化探先行”的重要作用(周圣华等, 2007; 杨镜明等, 2013; 俞胜等, 2016; 段吉学等, 2019; 王小红等, 2023), 在中国新一轮找矿突破战略行动“攻深探盲, 探边摸底”的历史背景条件下, 物化探找矿方法仍面临着在复杂地质条件下寻找隐伏矿体的新挑战(时永志等, 2014)。因热液裂隙充填型萤石矿矿体与围岩介质的密度、电性、磁性等物性差异不大, 相关研究鲜有报道。近十年来, 有学者以浙江省和内蒙古东部受控于断裂破碎带的热液脉型萤石矿床为研究对象, 主要运用甚低频电磁法、对称四级测深法、双频激电法、便携式 X 射线荧光分析、地面伽玛能谱测量、高精度磁法、偏提取地球化学等综合物化遥技术方法开展了不同程度的试验和应用实践研究工作, 总结了分带型和掩埋型隐伏萤石矿定位预测技术方法组合, 在此基础上开展了找矿实践预测推广应用, 取得显著成效, 圈定了一些萤石矿找矿靶区(高峰, 2013; 张鹏, 2013; 方乙, 2015; 张寿庭等, 2015)。但不同区域、不同构造和景观条件下的不同时代、围岩不同的隐伏萤石矿床的物性差异较大, 其具有一定的应用限制条件, 其普适性有待进一步探索验证。喀喇沁旗大西沟萤石矿位于冀北-辽西萤石矿成矿带承德-阜新萤石矿矿集区北部(王吉平等, 2010), 矿床成因为低温热液裂隙脉状充填型, 矿体受 NE、NW 或近 SN 向断裂构造控制, 呈脉状和透镜状

产出(张成信等, 2019), 矿床开采历史悠久, 最早可追溯到解放前, 新中国成立后, 随着矿业市场的发展, 陆续有多家矿业公司对矿权登记开采, 近年来, 矿山保有储量日益减少枯竭, 矿山外围的隐伏矿找矿工作成为了重中之重。为了解决这一难题, 笔者联用地质、化探和物探综合手段对大西沟大型萤石矿矿体外围延伸隐伏地区进行了定位预测研究, 为后期矿山接替资源外围扩增勘查钻探布置工作提供依据。

1 区域地质背景

大西沟萤石矿地处内蒙古东部赤峰市喀喇沁旗王爷府镇西大西沟村, 大地构造位于华北克拉通北缘燕山构造带北侧, 属环太平洋成矿域和古亚洲洋成矿域复合叠加部位(曹华文等, 2013)。本区由高级变质基底、晚古生代—中生代中酸性侵入岩、寒武纪盖层、二叠纪火山岩和东西两侧晚侏罗世—早白垩世陆相断陷盆地组成(张成信等, 2019)。区内主要的构造是 NEE 向展布的美林-锦山和八里罕-红山深大断裂, 深大断裂及其两侧派生的次级断裂系统, 为本区萤石矿的形成提供了通道和储存空间(图 1)。燕山中晚期, 伴随着强烈的构造-岩浆活动, 发育了一系列 NE 向断陷型盆地, 并诱发了一个高温地热流带, 为成矿流体(含矿地热水)的形成和活动创造了条件(翟明国等, 2003)。

2 区域 F 元素异常特征

区域上 1:20 万水系沉积物 F 元素较为富集, 且浓度较高, 所在三级 F 异常极值达 $39\,284 \times 10^{-6}$ (图 2b)。

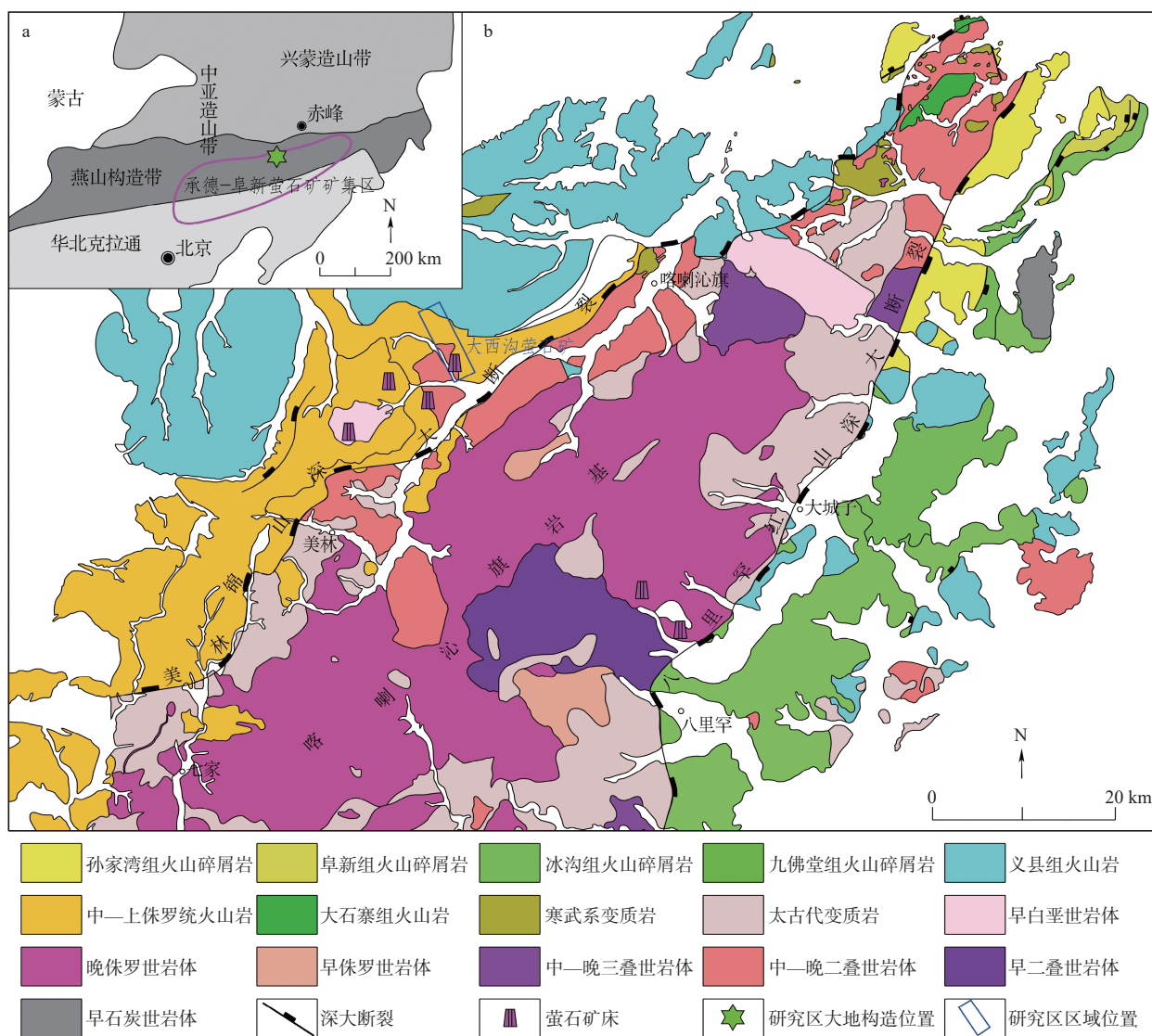


图1 研究区大地构造位置(a)及区域地质简图(b)(据张成信等, 2019修)

Fig. 1 (a) Geotectonic location and (b) regional geological schematic map of the study area

多处1:5万水系沉积物F元素异常,且在NE向美林—锦山深大断裂与NW向大西沟门断裂交汇区域分布较为集中,与萤石矿床(点)吻合度较高,区域上大多数萤石矿均分布于这些异常之中,研究区位于F-12三级F异常内,浓度中心明显,在研究区南部极值达 73933×10^{-6} ,中部贡家营子北峰值达 15921×10^{-6} ,均为矿致异常。研究区北部画匠沟一带由于覆盖较厚,地表少见萤石矿体露头,未表现出明显的F元素异常(图2a)。由此可见,F元素是研究区寻找萤石矿的重要地球化学标志之一。

3 矿区地质概况

矿区出露地层有侏罗系中统新民组(J_2x)安山质

火山碎屑岩、侏罗系上统玛尼吐组(J_3mn)流纹质火山碎屑岩、白垩系下统义县组(K_1y)安山岩,矿区中部广泛出露中二叠纪侵入岩,岩性为细中粒黑云母二长花岗岩。断裂构造发育,主要有NW向 F_1 和NE向 F_2 两组断裂,断裂两侧发育近于平行较长的次一级断裂,这些断裂是成矿流体运移的良好通道,大西沟萤石矿矿体均产于这些断裂破碎带中(图3a)。

矿体形态严格受NW、NNE向断裂构造破碎带控制,产状与断裂构造一致,倾向为 $260^\circ \sim 283^\circ$,倾角多为 $51^\circ \sim 81^\circ$,各矿体在地表出露长度为300~1000 m不等,地表平均厚度为0.25~2.3 m,相差不大,各矿体延深均大于200 m(图3b)。萤石矿以紫色、淡绿色和无色为主,自形粒状结构、半自形粒状结构和他形粒状结构。矿石构造主要有角砾状、条带状、肾状、块

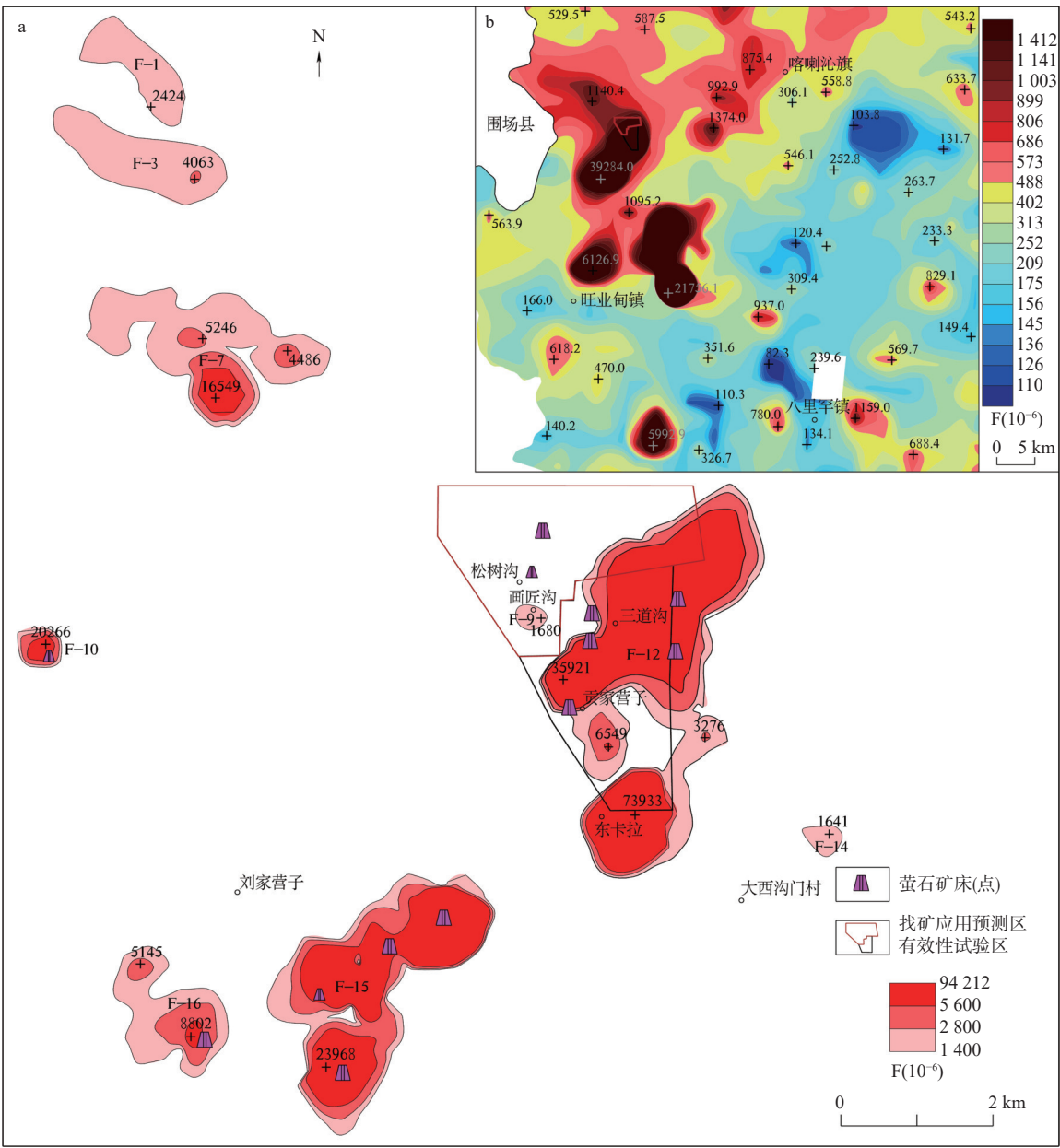


图2 研究区 F 元素地球化学图(据席玉林等, 1992; 商朋强等, 2019 修)
Fig. 2 Geochemical map of fluorine in karaqin banner

状、网脉状、梳状。矿石矿物为萤石, 脉石矿物主要为石英和围岩角砾(长石、石英等), 其次为次生高岭石、蛋白石, 局部有方解石和黄铁矿等。矿石类型主要为石英-萤石型和萤石-石英型。围岩蚀变主要发育一套中-低温热液蚀变矿物组合, 以硅化为主, 其次为高龄土化和褐铁矿化, 少见绿泥石化和绢云母化。

4 综合技术方法及效果

本次研究工作的对象为热液裂隙充填型萤石矿

床(体), 主要是对控矿断裂破碎带的定位预测和断裂构造含矿性识别两个方面进行技术方法的选择。为了探测隐伏控矿断裂破碎带, 本次研究工作选用 1:1 万高精度磁测、1:1 万高密度电阻率剖面 and 1:1 万电阻率联合剖面物探技术手段。为了探测断裂破碎带含矿性, 本次研究工作选用了 1:1 万土壤地化剖面化探技术手段。

4.1 有效性试验

选择大西沟萤石矿进了方法有效性试验, 共布置地物化剖面 9 条, 其中高精度磁测 5 条, 累计 9.7 km;

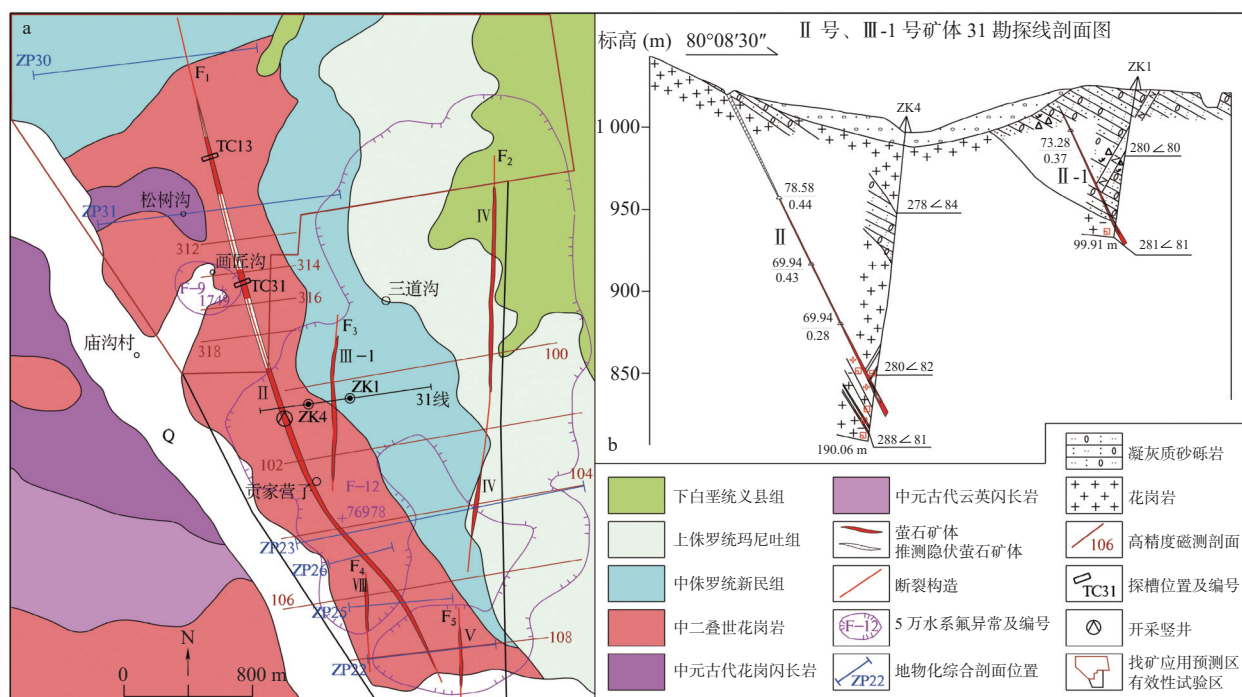


图3 大西沟萤石矿工程布置及地质简图

Fig. 3 Engineering layout and geological schematic map of Daxigou fluorite mine

高密度电阻率和电阻率联合剖面两条(点距为10 m),累计1.18 km;地化剖面两条,分别为ZP22和ZP23(点距为40 m),累计1.96 km,共采集土壤样品77件。

4.1.1 1:5万水系沉积物测量

区域1:5万水系沉积物测量在研究区内圈出F-12三级和F-9一级两处F异常(图2a),其中F-12涵盖整个大西沟矿权区域,呈椭圆状近SN向展布,浓集中心在贡家营子南,极大值达 76978×10^{-6} ,地表为大西沟萤石矿Ⅱ号矿体露头采坑位置,为矿致异常。结果表明,1:5万水系沉积物测量工作可以缩小找矿目标区域,为下一步重点查证工作奠定基础。

4.1.2 1:1万土壤剖面测量

鉴于矿区萤石矿体走向呈NW或NNW向展布,因此野外布置探测剖面为NEE或EW垂直矿体走向,在大西沟萤石矿主要矿体和构造隐伏部位,配合地质剖面(草测)布设1:1万土壤剖面ZP22和ZP23(图3a),采集土壤样品,样品加工粒级为-10~+60目,分析测试了包含F的15种元素。结果显示在矿体和构造隐伏部位处均表现出了明显的F异常(图4),并在地表相应位置发现有断裂破碎带,破碎带中有萤石矿脉,目估CaF₂品位达40%以上,说明该破碎带具有一定的萤石矿含矿性。其中ZP22剖面中段Ⅱ矿体处表现为宽度大于200 m的高值F异常,主要为地表稀

疏萤石细脉和地表采矿污染所致。

4.1.3 地球物理测量

(1)物性参数测定:开展地球物理测量工作的前提是岩、矿石之间存在物性差异。本次研究工作,测定区内典型岩矿石磁性参数标本53块,参数统计见表1。由表1可以看出,由萤石→石英→围岩,磁化率表现出由低到高的变化规律,萤石无磁性,形成负磁异常,含石英英脉和石英脉具有微弱的磁性,形成低磁异常,蚀变围岩和围岩磁化率相较于萤石矿差别明显,蚀变花岗岩显示中等磁性特征,中基性安山岩呈高磁特征,均具有相对较强的磁性,形成正磁异常。由此可以看出,研究不同岩矿石磁化率具有明显的差异,在理论上应用高精度磁测圈定萤石矿隐伏矿体是可行的。

研究区共测定岩矿石电性参数标本48块,电性参数统计见表2。由表2可以看出,研究区流纹质碎屑岩、安山质碎屑岩和花岗岩电阻率相对较高,多为1500~1800 Ω·m,呈中高阻特征,区内完整萤石矿(化)石电阻率值约为2000 Ω·m,与围岩相比,电阻率呈高阻特征,但矿石一般赋存于构造破碎带中,风化、破碎严重,导致电阻率值降低,电阻率常见值约为1000 Ω·m,表现为低阻特征。因此,低阻异常可作为热液裂隙充填型萤石矿的地球物理找矿标志。

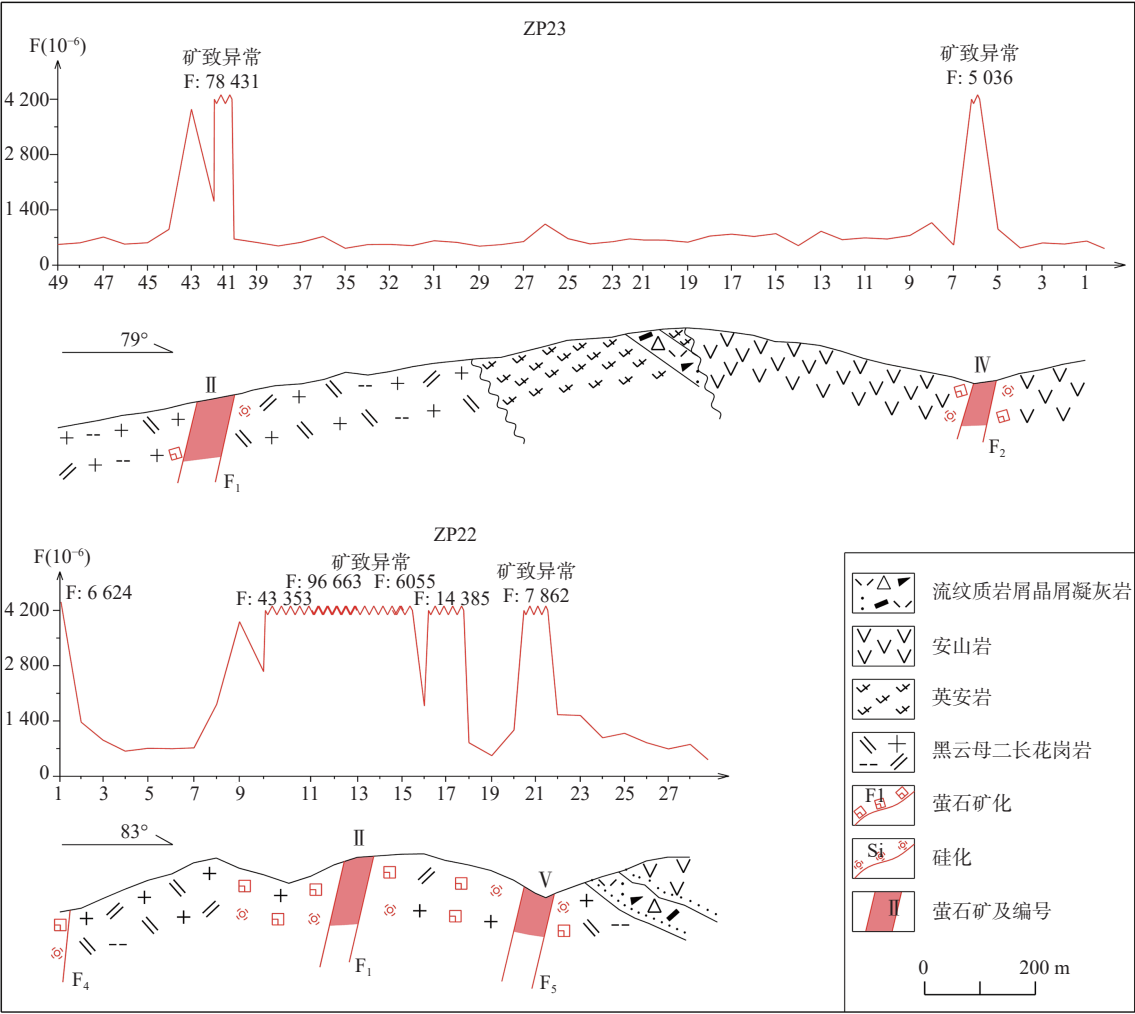


图4 大西沟矿区(ZP22、ZP23)地化(F元素)剖面简图

Fig. 4 Section sketch of geochemical (fluorine element) in Daxigou mining area (ZP22, ZP23)

表 1 研究区岩、矿石磁性参数测定统计表

Tab. 1 Statistical table for determination of magnetic parameters of rocks and ores in the study area

岩矿石名称	块数	磁化率(10^{-5}SI)	
		变化范围	平均值
蚀变花岗岩	10	110~960	521
花岗岩	10	320~11 900	6 625
安山岩	6	140~13 884	9 461
流纹质碎屑岩	5	1 215.96~6 080.13	3 307.32
萤石矿	10	1~56.7	18
石英	12	3~1 000	58

为探测隐伏断裂构造破碎带,本次工作布设地物综合剖面 ZP25、ZP26 进行高密度电阻率和电阻率联合剖面测量,布设 100、102、104、106、108 五条剖面进行高精度磁测(图 3a)。

表 2 研究区岩、矿石电性参数测定统计表

Tab. 2 Statistical table for determination of electrical parameters of rocks and ores in the study area

岩矿石名称	块数	$\rho_s(\Omega\cdot\text{M})$	
		变化范围	平均值
流纹质碎屑岩	10	690~4 850	1 790
安山质碎屑岩	4	520~3 870	1 530
花岗岩	8	470~3 260	1 590
萤石(完整)	6	1 360~5 720	2 150
萤石(风化)	4	560~2 620	1 150
萤石矿化硅化花岗岩(破碎带)	4	650~3 530	1 260
石英	12	453~5 314	2 098

(2)高精度磁测:1:1 万高精度磁测显示大西沟矿区磁场变化相对平缓,总体呈南高北低的特征,场

值多在 $-100 \sim 200$ nT之间,正磁异常主要为玛尼吐组安山岩的反映。正负磁场异常分界线在研究区中部呈NW向展布,与已知控矿断裂构造 F_1 、 F_2 走向基本一致。正负磁场分界线与Ⅱ号和Ⅳ号萤石矿体出露位置大致吻合(图5),试验效果较好。

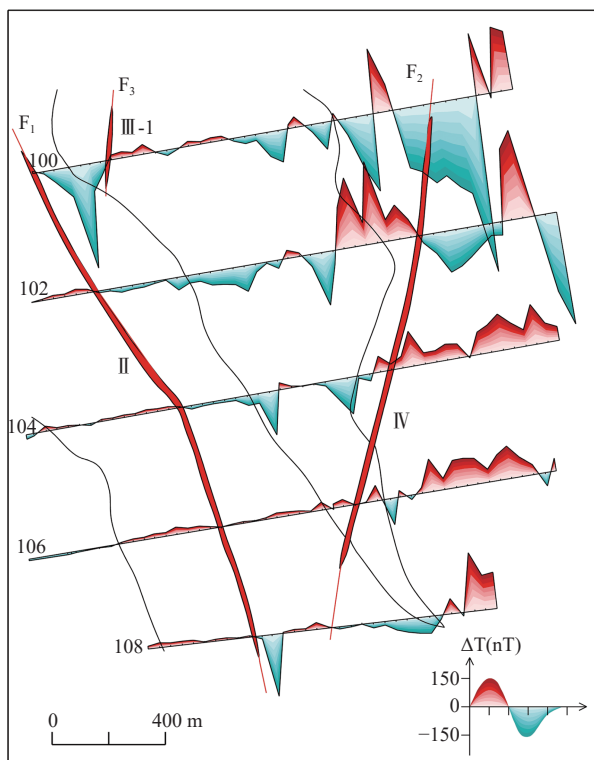


图5 大西沟萤石矿磁测 ΔT 剖面平面图

Fig. 5 Plan of magnetic survey ΔT section of Daxigou fluorite mine

(3)电阻率剖面测量: ZP25剖面地段岩性为黑云母二长花岗岩,整体电阻率值变化较大,呈东低西高的特征,剖面150~200 m处,电阻率值为 $0 \sim 100 \Omega \cdot m$,显示低阻异常特征(图6)。该异常近似陡立状展布,从地表延伸至地下,且向下未封闭,联合剖面法在150 m处左右有正交点出现,异常与已知控矿断裂构造 F_1 破碎带基本一致。剖面650 m位置处有一明显低阻异常,电阻率值小于 $100 \Omega \cdot m$,深度约为25 m,地表见含萤石矿化构造破碎带,异常为控矿断裂构造 F_4 破碎带引起。

ZP26剖面位处地势平缓,主要出露黑云母二长花岗岩。视电阻率值纵向变换由低到高,横向变化较大,连续性差(图6),剖面起始位置呈低阻异常,深度较浅,推测与地表第四覆盖较厚,含水量增加所致;剖面150~250 m位置处电阻率呈低阻特征($0 \sim 100 \Omega \cdot m$),

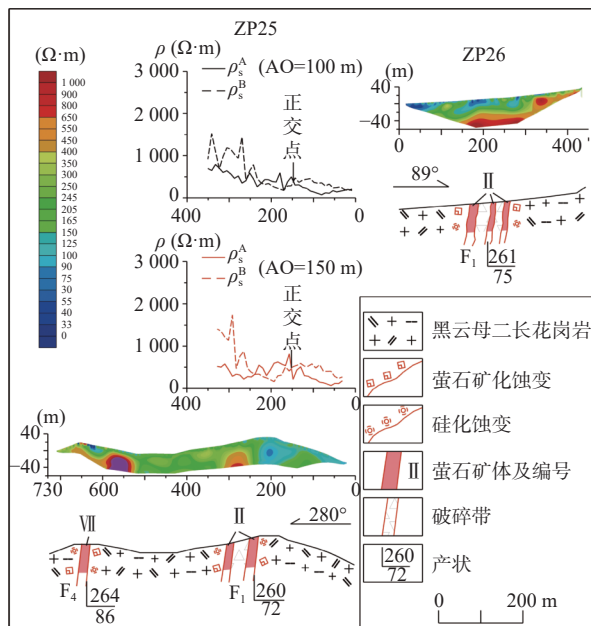


图6 大西沟萤石矿 ZP25、ZP26 地物综合剖面简图

Fig. 6 Comprehensive profile of zp25 and zp26 of Daxigou fluorite mine

地表见多条萤石矿化断裂构造破碎带,矿化蚀变明显,该异常与控矿构造断裂 F_1 破碎带基本吻合,试验效果较好。

4.2 应用效果

覆盖全区的1:5万水系沉积物测量在应用区圈定一处F异常F-9,其位于大西沟北侧松树沟一带,呈圆状展布,因该区域植被相对发育,地表覆盖较厚,异常规模较小,极大值相对不高,为 1.749×10^{-6} 。值得说明的是该异常分布在断裂 F_1 西盘画匠沟村南,大西沟萤石矿Ⅱ号矿体北西延伸部位(图3a),该异常的圈定,进一步缩小了找矿目标区域。

4.2.1 控矿构造探测

为查明大西沟主矿体控矿构造NW方向延伸展布情况,布设了地物综合剖面ZP30(磁法)、ZP31(磁法、高密度电阻率)和312、314、316、318四条高精度磁测剖面(图3a)。物探测量成果显示,控矿断裂延伸位于剧烈变化的正负磁场过渡带上,显示为背景场中叠加一局部磁场(图7);在电阻率剖面上显示为低阻带,控矿断层经过ZP31剖面830 m附近的低阻异常带向NNW延伸(图8),推测在松树沟应用区矿体延伸部位浅地表存在NNW走向的构造破碎带。综上所述,物探异常应为断裂 F_1 的NW延伸隐伏部位。

4.2.2 控矿构造含矿性识别

为了探测矿体北西延伸部位构造破碎带的萤石

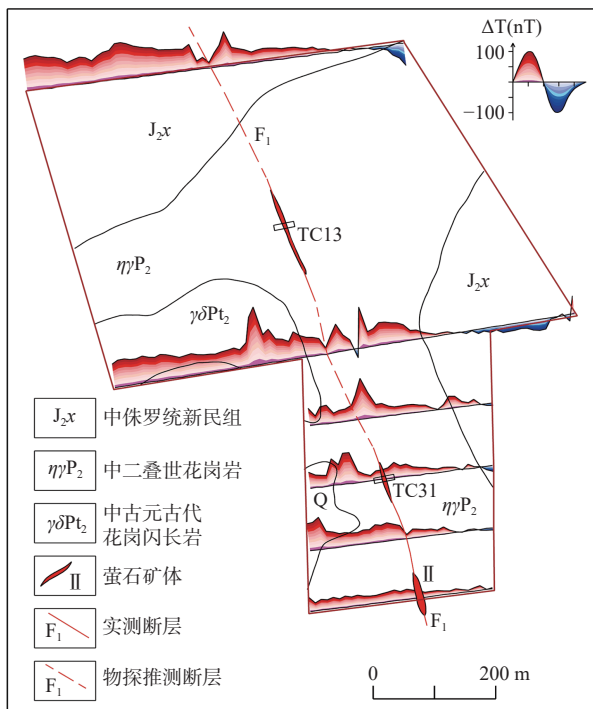


图7 松树沟应用区高精度磁测 ΔT 剖面平面图

Fig. 7 High precision magnetic survey ΔT section plan of Songshugou application area

矿含矿性,布置了 ZP30 和 ZP31 两条平行的地化综合剖面。结果显示,在对应物探异常地段均出现了相对的 F 元素高值异常,可以说明该控矿构造断裂 F_1 在对应部

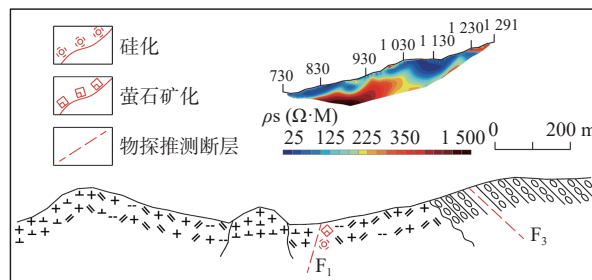


图8 松树沟应用区 ZP31 地物综合剖面简图

Fig. 8 Comprehensive profile of zp31 in Songshugou application area

位具有一定的萤石矿含矿性(图 9), ZP30 剖面上仅在 360 m 附近 1 个样品表现出明显的 F 异常,且异常值在 $3\ 000 \times 10^{-6}$ 以下,主要为该处地表植被覆盖较厚所致。

4.3 地质查证及矿产预测

针对地表物化探技术方法探测发现的萤石矿化线索,在综合分析物化探异常的基础上,进行了 1:1 万地质填图,主要在大西沟主矿体 NW 延伸方向地段进行了追索控制,在地表新发现了一些萤石矿蚀变线索。并在相应位置布设施工了探槽 TC13 和 TC31 进行地表揭露查证(图 3a),两处萤石矿体均达工业规模。两处矿体产状倾向南西,与大西沟主矿体产状一致,其中间隐伏地段,大部覆盖较厚,地表暂未发现明显的断裂和萤石矿化标志。

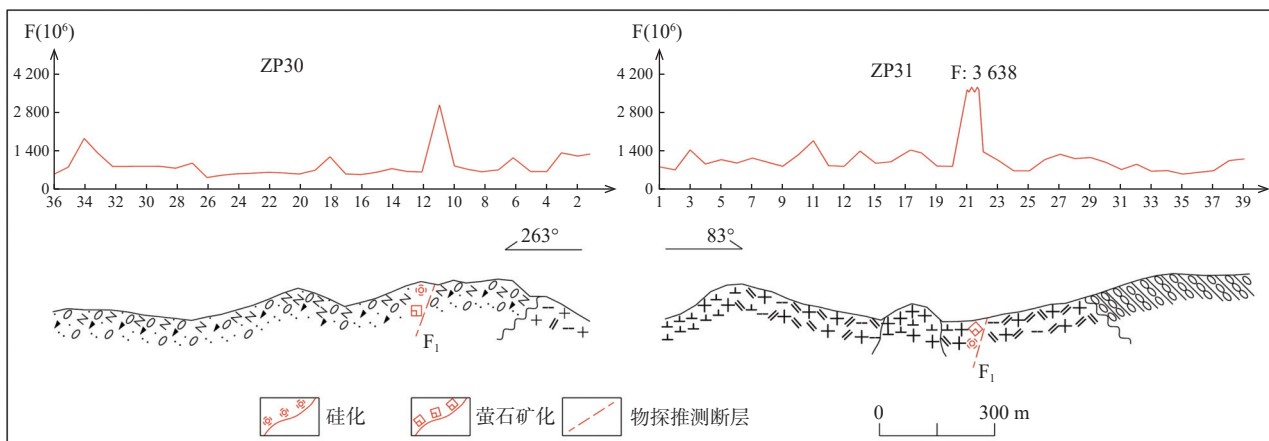


图9 松树沟应用区 ZP30、ZP31 地化(F 元素)剖面简图

Fig. 9 Profile sketch of zp30 and zp31 geochemical (fluorine element) in Songshugou application area

综上所述,推测大西沟规模较大的 II 号矿体经 TC31 和 TC13 向北西延伸至 ZP30 以北,长度预计在 1 000 m 以上。目前,贡家营子北采矿竖井已开采至 120 m 以下(图 3a),推测 II 号矿体在松树沟应用区倾向延深应在 120 m 以下,初步预测其延伸部位萤石矿体规模可达中型以上,潜力巨大。为矿山外围接替资

源勘查提供了依据,下一步可在松树沟应用区进一步开展物探测深和深部钻探工程验证工作。

5 结论

(1) 1:20 万、1:5 万区域化探圈定的 F 异常对

于缩小萤石矿找矿靶区具有重要作用,1:1万土壤剖面测量圈定的F异常可有效指示热液裂隙充填型萤石矿控矿断裂含矿性,且对定位预测具有一定的指导作用。

(2)高精度磁测正负磁异常、高密度电阻率低阻异常、视电阻率联合剖面正交点等异常对探测浅地表隐伏断裂破碎带具有较好的指导作用,可作为热液裂隙充填型萤石矿找矿的重要地球物理找矿标志。

(3)本次研究工作获得的各类物化探及地质异常与控矿构造破碎带具有较好的耦合关系。建议下一步在大西沟萤石矿外围松树沟区域进一步开展物探深工作,探测控矿断裂构造深部展布情况,指导钻探工程布设,进行深部验证,有望取得重要找矿突破。

参考文献(References):

- 曹华文,张寿庭,邹灏,等.内蒙古林西萤石矿床石英ESR年龄及其地质意义[J]. *现代地质*, 2013, 27(4): 888-894.
- CAO Huawen, ZHANG Shouting, ZHOU Hao, et al. ESR Dating of Quartz from Linxi Fluorite Deposits, Inner Mongolia and Its Geological Implications[J]. *Geoscience*, 2013, 27(4): 888-894.
- 段吉学,刘江.综合物化探在内蒙古萤石多金属矿普查中的应用研究[J]. *西北地质*, 2019, 52(3): 265-274.
- DUAN Jixue, LIU Jiang. Application of Comprehensive Physical and Chemical Exploration Method for Prospecting Fluorite Polymetallic Deposit in Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(3): 265-274.
- 方乙.中国东部地区萤石矿隐伏矿体定位预测技术方法组合研究[D].北京:中国地质大学(北京), 2015.
- FANG YI. The Study of Comprehensive Exploration Methods for the Prediction of Concealed Fluorite Deposit in East China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- 高峰.地面伽马能谱测量在内蒙古赤峰浅覆盖区萤石矿勘查中的应用[D].北京:中国地质大学(北京), 2013.
- GAO Feng. Application of Ground Gamma-Ray Spectrometry on Fluorite Mine Exploration in Shallow Covered Area of Chifeng, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- 时永志,李凯成.综合物化探方法在地质找矿“攻深探盲”中的应用[J]. *物探与化探*, 2014, 38(5): 910-915.
- SHI Yongzhi, LI Kaicheng. The Application of Integrated Geophysical and Geochemical Exploration Methods to the Prospecting for Deep and Eoncaled Orebodies[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014, 38(5): 910-915.
- 商朋强,代晓光,谢晓亮,等.东部地区硼磷萤石等重要非金属矿产调查项目成果报告[R].北京:中化地质矿山总局, 2019.
- 王小红,杨建国,王磊,等.地质物化探综合方法在甘肃北山红柳沟铜镍矿的应用[J]. *西北地质*, 2023, 56(6): 254-261.
- WANG Xiaohong, YANG Jianguo, WANG Lei, et al. The Application Effect of Geological Geophysical and Geochemical Exploration Comprehensive Method in Hongliugou Copper-Nickel Deposit, Beishan, Gansu Province[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(6): 254-261.
- 王吉平,商朋强,牛桂芝.中国萤石矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. *化工矿地质*, 2010, 32(2): 87-95.
- WANG Jiping, SHANG Pengqiang, NIU Guizhi. Discussion on China Fluorite-Concentrating Area and the Resource Potntialhina[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2010, 32(2): 87-95.
- 席玉林,郭济海,等.喀喇沁旗幅K-50-23 1/20万地球化学图说明书:水系沉积物测量[R].石家庄:河北省地质矿产局区域地质调查大队五分队, 1992.
- 俞胜,蒙轸,尤关进,等.物化探综合找矿方法在西口沟钨矿勘查中的应用[J]. *地质与勘探*, 2016, 52(5): 838-845.
- YU Sheng, MENG Zhen, YOU Guanjin, et al. Application of Integrated Geophysical and Geochemical Methods to Prospecting of the Xikougou Molybdenum Deposit[J]. *Geology and Exploration*, 2016, 52(5): 838-845.
- 杨镜明,庞星,陈黎昀.物化探方法在新疆克峡希一带金属多金属找矿中的应用[J]. *地质论评*, 2013, 59(z1): 843-844.
- YANG Jingming, PANG Xing, CHEN Lijun. Application of Geophysical and Geochemical Methods in Prospecting for Polymetallic Deposits In Kexiaxi Area, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 2013, 59(z1): 843-844.
- 周圣华,鄢云飞,李艳军.矿产勘查中的物化探技术应用与地质效果[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(6): 58-62.
- ZHOU Shenghua, YAN Yunfei, LI Yanjun. Application and Efficiency of Geophysical and Geochemical Exploration Methods in Present Ore Prospecting[J]. *Geology and Exploration*, 2007, 43(6): 58-62.
- 张鹏.便携式X荧光仪在内蒙古赤峰浅覆盖区萤石矿勘查中的应用[D].北京:中国地质大学(北京), 2013.
- ZHANG Peng. Application of Portable X-ray Fluorescence on Fluorite Mine Exploration in Shallow Covered Area of Chifeng, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- 张寿庭,陈守余.中国东部地区萤石矿隐伏矿体定位预测技术方法组合研究报告[R].北京:中国地质大学(北京), 2015.
- 张成信,商朋强,焦森,等.内蒙古喀喇沁旗地区萤石矿床地质特征及成因探讨[J]. *中国地质调查*, 2019, 6(6): 79-87.
- ZHANG Chengxin, SHANG Pengqiang, JIAO Sen, et al. Geological Characteristics and Genesisi of Fluorite Deposits in KaraQinQi Area, Inner Mongolia[J]. *Geological Survey of China*, 2019, 6(6): 79-87.
- 翟明国,朱日祥,刘建明,等.华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. *中国科学(D辑:自然科学)*, 2003, 33(10): 913-920.
- ZHAI Mingguo, ZHU Rixiang, LIU Jingming, et al. The Key Timing of the Mesozoic Tectoniclin Northesstern China[J]. *Science in Chinese (Series D)*, 2003, 33(10): 913-920.