



辽西义县地区萤石矿“三位一体”成矿特征及找矿意义

刘颖利, 郑 婧, 黄 昊

辽宁省第四地质大队有限责任公司, 辽宁 阜新 123000

摘 要: 辽西义县地区是辽宁省萤石矿的重要产地之一。本研究在归纳和总结该地区萤石矿的成矿地质体、成矿构造与成矿结构面以及成矿作用特征标志的基础上, 建立了该地区有关萤石矿的“三位一体”找矿预测模型。研究表明, 该地区萤石矿的成矿地质体为中元古界碳酸盐岩及中生界侏罗系髫髻山组火山岩; 成矿构造为 NNE 向及 NW 向断裂构造, 成矿结构面为构造结构面及岩性界面; 成矿作用蚀变标志为硅化、萤石矿化、高岭土化, 成矿热液来源于髫髻山组火山岩热液。

关键词: 萤石矿; 矿床成因; 成矿作用; 成矿构造; 找矿模型; 辽宁省

“Trinity” metallogenic characteristics and prospecting significance of fluorite deposits in Yixian area, western Liaoning Province

LIU Ying-li, ZHENG Jing, HUANG Hao

Liaoning No.4 Geological Brigade Co., Ltd., Fuxin 123000, Liaoning Province, China

Abstract: The Yixian area in western Liaoning is one of the significant production regions for fluorite deposits in Liaoning Province. Based on the summary of metallogenic geological bodies, ore-forming structures and structural planes, as well as characteristic indicators of mineralization in the region, this study establishes a “Trinity” prospecting prediction model for fluorite deposit in the area. The results indicate that the metallogenic geological bodies of fluorite deposit are Mesoproterozoic carbonate rocks and Middle Jurassic Tiaojishan Formation volcanic rocks. The ore-forming structures are NNE- and NW-trending faults. The ore-forming structural planes include tectonic structural planes and lithological interfaces. The alteration indicators of mineralization are silicification, fluoritization, and kaolinization. The mineralizing hydrothermal fluids are derived from the hydrothermal activities associated with Tiaojishan Formation volcanic rocks.

Key words: fluorite; deposit genesis; mineralization; metallogenic structure; prospecting model; Liaoning Province

0 引言

萤石作为重要的战略性矿种^[1-4], 被国内外广泛应用于国防、化工、冶金以及新能源、新材料等领域^[5-7],

具有极为重要的用途。随着科学技术的迅猛发展, 萤石资源的需求日益增加, 价格也不断提升, 这对新兴矿产提出了迫切需求, 同时也加快了世界各国寻找萤石矿

收稿日期: 2024-04-18; 修回日期: 2024-06-22. 编辑: 李兰英.

基金项目: 辽宁省自然资源地质勘查项目“辽宁省萤石矿资源评价与研究”(KJ-2005-001).

作者简介: 刘颖利(1984—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质矿产资源勘查与研究, 通信地址 辽宁省阜新市细河区四合大街 329-30 号, E-mail/281083609@qq.com

引用格式: 刘颖利, 郑婧, 黄昊. 辽西义县地区萤石矿“三位一体”成矿特征及找矿意义[J]. 地质与资源, 2025, 34(4): 402-409.

Liu Y L, Zheng J, Huang H. “Trinity” metallogenic characteristics and prospecting significance of fluorite deposits in Yixian area, western Liaoning Province [J]. *Geology and Resources*, 2025, 34(4): 402-409.

的步伐^[8-12].

锦州义县地区是辽宁省萤石矿的重要产地之一. 近些年,前人已在该地区陆续发现了多处规模不等的萤石矿床(点),如三宝屯(大型)矿床、头道河乡(小型)矿床等. 前人^[13-16]曾对该区萤石矿床的成矿地质特征、矿床地球化学等方面做了大量的研究工作,并且也取得了一定的成果,认为萤石矿床的形成与燕山期岩浆活动有关^[13];背斜构造为成矿有利构造,而压扭性断裂构造次之^[14];成矿流体主要为中侏罗世髫髻山旋回岩浆热液^[15]. 然而对于该地区有关萤石矿的“三位一体”地质找矿问题尚未见报道. 针对“三位一体”找矿预测地质模型的概念,叶天竺等^[17]曾提出该模型是以成矿地质体、成矿构造与成矿结构面、成矿作用特征标志为研究内容,是厘定成矿作用基本问题的基

础科学理论. 本研究基于近年来在义县地区开展的地质调查,结合前人的研究成果,系统总结该区萤石矿的成矿地质体、成矿构造与成矿结构面以及成矿作用特征标志,建立了该区“三位一体”找矿模型,以便为今后在该区域内开展找矿预测工作提供参考.

1 成矿地质背景

研究区大地构造位于华北陆块北缘东段辽西台陷内^[16,18],其南部为山海关隆起,北部为内蒙地轴(图 1a). 该区在中生代经历了显著的构造活化,并形成火山-沉积盆地^[16]. 区内出露的地层主要为中生界侏罗系髫髻山组中性-中酸性火山岩、碎屑岩以及白垩系义县组基性、中基性、中酸性、酸性火山岩系. 区内零星出露的中元古界长城系和蓟县系为萤石矿的主要赋矿

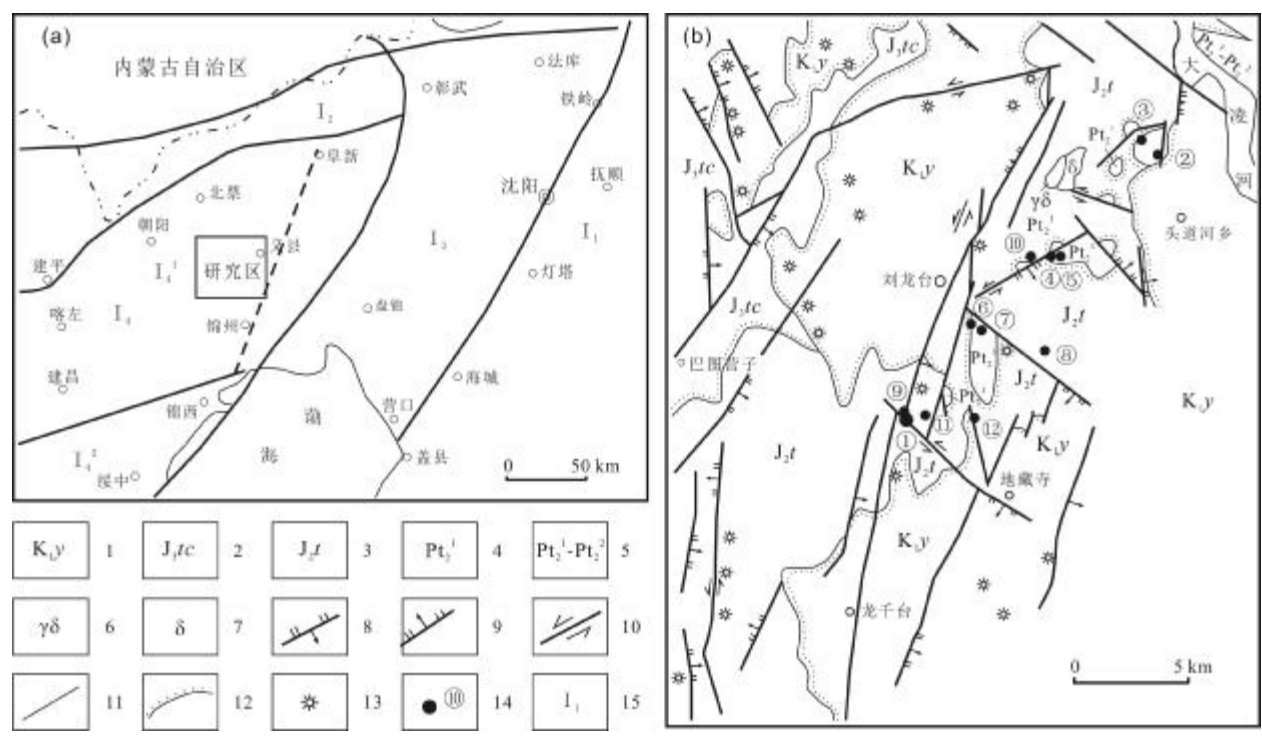


图 1 研究区区域地质图

Fig. 1 Regional geological maps of the study area

a—大地构造位置图 (tectonic location map); b—义县萤石矿区地质图 (据文献 [20] 修改)(geological map of Yixian fluorite orefield, modified from Reference [20]); 1—白垩系义县组 (Cretaceous Yixian fm.); 2—侏罗系土城子组 (Jurassic Tuchengzi fm.); 3—侏罗系髫髻山组 (Jurassic Tiaojishan fm.); 4—中元古界长城系 (Mesoproterozoic Changchengian sys.); 5—中元古界长城系-蓟县系 (Mesoproterozoic Changchengian-Jixianian sys.); 6—燕山期花岗闪长岩 (Yanshanian granodiorite); 7—燕山期闪长岩 (Yanshanian diorite); 8—逆断层 (reverse fault); 9—正断层 (normal fault); 10—左旋断层 (left lateral fault); 11—性质不明断裂 (unidentified fault); 12—不整合界线 (unconformity); 13—火山口 (volcanic crater); 14—萤石矿床(点)及编号 (fluorite deposit/occurrence and number); 15—大地构造单元编号 (number of tectonic unit); ①三宝屯萤石矿床(大型) (Sanbaotun fluorite deposit, large scale); ②金羽萤石矿床(小型) (Jinyu fluorite deposit, small scale); ③头道河乡萤石矿床(小型) (Toudaohe fluorite deposit, small scale); ④-⑫萤石矿点 (fluorite ore occurrence)

地层,其岩性以灰岩为主。

研究区内断裂构造较发育,主要发育 NNE 向和 NW 向两组断裂(图 1b)。NNE 向断裂形成时间早于 NW 向断裂,其性质为压扭性断裂,局部属于张扭性;NW 向断裂性质以张性为主。

目前,已在矿集区内中元古界长城系及蓟县系碳酸盐岩中发现了 12 处规模不等的萤石矿床(点)。矿脉总体走向呈 NW 向,倾向 SW,矿脉长度介于 160~360 m 之间,厚度介于 0.5~8.0 m 之间^[15]。矿石类型主要为重晶石-萤石型,其次为萤石-石英脉型。主要矿物成分有石英、萤石,次要矿物成分有方解石、重晶石以及少量的白云石、黄铁矿等。矿石结构多为半自形粒状结构,矿石构造主要为块状、网脉状^[19]。矿石中 CaF_2 含量较高,介于 52.86%~79.74% 之间。围岩蚀变较发育,主要类型有萤石矿化、硅化、碳酸盐化、重晶石化、高岭土化及绿泥石化。

2 典型矿床地质特征

近些年,在矿集区内已发现多处萤石矿床(点),本文选取地藏寺乡三宝屯大型萤石矿作为典型矿床进行详细剖析。

三宝屯萤石矿区位于锦州市义县地藏寺乡旧烧锅村,构造上位于阜新-义县构造盆地西部。区内中生界火山岩大面积出露,蓟县系雾迷山组燧石条带白云质灰岩局部出露,萤石矿赋存于该地层中(图 2)。

(1) 容矿岩石

矿区内的容矿岩石主要为蓟县系雾迷山组灰白色、深灰色燧石条带白云质灰岩,呈细粒镶嵌结构,条带状、块状构造。岩石主要由细小的白云石颗粒、燧石条带(隐晶质石英)及微量的铁质、泥质物组成,白云石含量占 60%~80%,燧石占 15%~20%,燧石和白云石互呈条带,二者界线清晰,条带宽几毫米至十几厘米。

(2) 控矿构造

矿区为一“S”型背斜构造,西翼岩层倾向 225~260°,倾角 25~50°,东翼岩层倾向 60~70°,倾角 36~40°。

矿区断裂构造较发育,但规模很小,主要表现为构造破碎带和节理裂隙。构造破碎带,早期以层间破碎为主,为成矿有利的构造条件;晚期多切割矿体,一般长 20~30 m,宽 1~10 m,由灰岩和萤石矿碎块组成。节理裂隙主要呈北东向,倾角近直立,为矿液上升的良好通道。

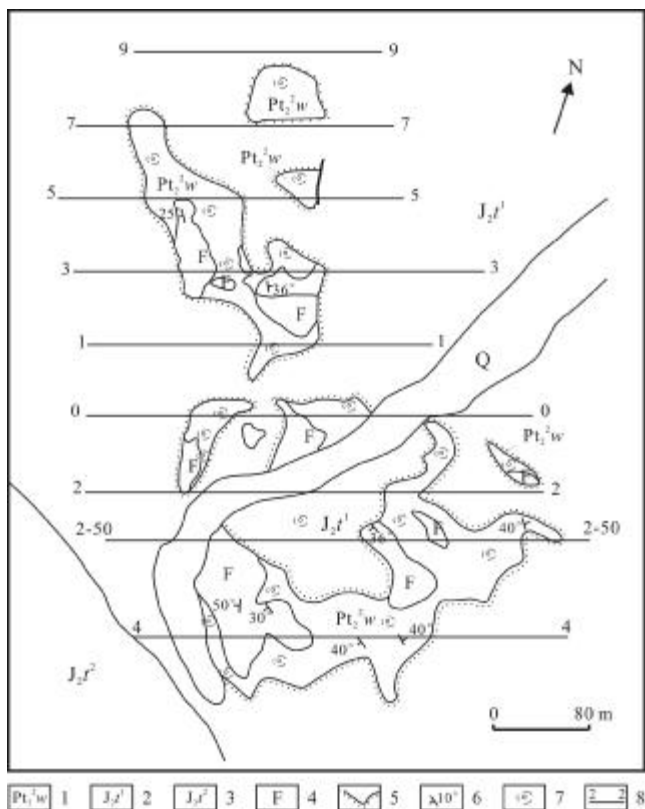


图 2 三宝屯萤石矿床地质略图

Fig. 2 Geological sketch map of Sanbaotun fluorite deposit

1—雾迷山组白云质灰岩(dolomite limestone of Wumishan fm.); 2—髫髻山组凝灰质角砾岩(tuffaceous breccia of Tiaojishan fm.); 3—髫髻山组安山岩(andesite of Tiaojishan fm.); 4—萤石矿点(fluorite ore occurrence); 5—不整合界线(unconformity); 6—地层产状(formation occurrence); 7—硅化(silicification); 8—勘探线及编号(exploration line and number)

(3) 岩浆岩

矿区地表大部分为火山岩,仅在钻孔中见到辉绿玢岩、细晶闪长岩及花岗斑岩岩脉侵入到燧石条带白云质灰岩中。辉绿玢岩呈灰色、灰绿及灰黑色,斑状结构,块状构造;细晶闪长岩呈灰色、灰白色,细晶结构,块状构造;花岗斑岩呈肉红色,斑状结构,块状构造。

(4) 矿体形态、规模、产状和分布

矿体赋存于雾迷山组燧石条带白云质灰岩中,主矿体产状与灰岩层理基本一致,位于背斜核部,呈鞍状,其他小矿体呈似层状、透镜状(图 3)。矿区共有 3 个矿体,分述如下。

I 号矿体:分布在 0 线至 9 线间,全长 357 m,最宽 200 m,最厚 15 m。矿体沿走向、倾向分支复合明显,矿体分 5 个支矿体,除 I-1 矿体部分出露地表,其余矿体均为盲矿体。I-1 矿体为 I 矿体的主矿体,在 1

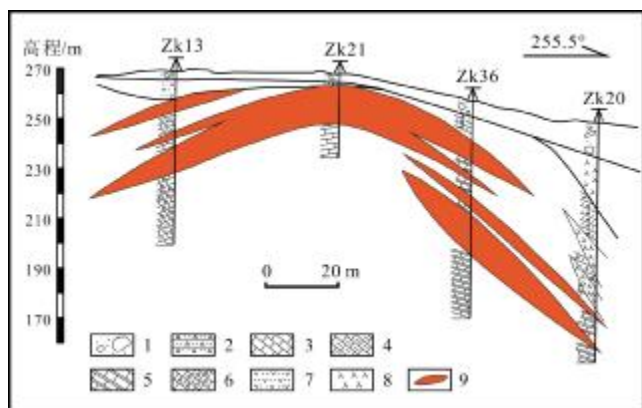


图3 三宝屯萤石矿7勘探线剖面图
(据文献[14]修改)

Fig. 3 Profile of Sanbaotun fluorite deposit along
No. 7 exploration line
(Modified from Reference [14])

1—残坡积层 (residual slope sediment); 2—角砾状微石英岩 (brecciated microquartzite); 3—灰岩 (limestone); 4—泥质灰岩 (argillaceous limestone); 5—硅化灰岩 (silicified limestone); 6—角砾状灰岩 (brecciated limestone); 7—凝灰质角砾岩 (tuffaceous breccia); 8—辉绿玢岩 (diabase porphyrite); 9—萤石矿脉 (fluorite vein)

线至9线间,呈缓鞍状,西翼倾向 250° ,倾角 30° ,东翼倾向 70° ,倾角 40° ,矿体长280 m,最宽200 m,最厚15 m,矿体中间厚,边缘薄至尖灭,品位大致是中间高,两端贫,最高可达96.38%,平均54.05%; I-2矿体在3线呈缓鞍状,西翼倾向 250° ,倾角 30° ,东翼倾向 70° ,倾角 40° ,3线以南向西倾,倾角约 25° ,3线以北向东倾,倾角约 35° ,矿体长300 m,最宽200 m,最厚近10 m,矿石品位最高为94.07%,平均40.87%; I-3矿体分布在5线和7线间,矿体长150 m,最宽25 m,最厚10 m,呈透镜状,矿体近东倾,倾角 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$,品位最高为85.26%,平均46.58%; I-4矿体规模较小,仅在7线ZK13号孔中见到,位于I-1矿体上部,矿体长75 m,最宽50 m,最厚4.5 m,呈透镜状,近西倾,倾角约 30° ,矿石品位最高为69.95%,平均43.91%; I-5矿体规模较小,仅在1线ZK34号孔见到,矿体长75 m,最宽50 m,最厚5.5 m,呈透镜状,近水平,矿石品位最高为34.52%,平均20.31%。

II号矿体:分布在2线至4线间,全长163 m,最宽90 m,最厚13 m,呈似层状,近西倾,倾角 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。矿体过2-50线和4线向两端尖灭,下延分支尖灭。矿体内夹石和黄泥洞较多,矿石品位变化大,最高达71.95%,平均35.16%。

III号矿体:分布于0线至4线间,整个矿体呈缓鞍状,倾角 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$,分两个支矿体,即III-1、III-2。III-1矿体分布于0线至4线间,全长210 m,最宽145 m,最厚12 m,矿体在2-50线向北倾伏、分支,过2线后尖灭,矿体在2-50线向南至4线起伏,南高北低,并且矿体变窄、变薄,分支尖灭; III-2矿体规模较小,仅见于2线ZK4孔,平行于III-1矿体并位于其下,长60 m,最宽50 m,最厚4.5 m,矿体呈透镜状,近西倾,倾角约 20° 。矿石氟化钙含量最高54.34%,平均28.35%,二氧化硅含量25%~35%。

(5) 矿石矿物组合

矿石类型主要有萤石矿型、重晶石-萤石矿型、硅化-重晶石-萤石矿型及重晶石矿型。矿石的结构主要有自形、半自形粒状结构;矿石构造主要为块状构造、条带状构造及细脉状构造。矿石矿物主要有萤石、重晶石,脉石矿物则为石英、碳酸盐及燧石。

3 成矿地质体

区域内矿床的形成常与其就位的地质体在空间上和成因上存在密切的联系,并且是成矿阶段的实物载体^[17]。根据孙祥等^[15-16]对三宝屯、姚家沟、刘龙台、头道河乡等萤石矿区内的萤石、赋矿围岩(中元古界长城系和蓟县系碳酸盐岩)及中生界侏罗系髫髻山组火山岩中的Sr同位素及稀土元素进行测试分析,结果显示:萤石中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为0.708476~0.708533,赋矿围岩和火山岩中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值分别为0.706043~0.708826和0.707382~0.708678。萤石矿的Sr同位素比值与赋矿围岩和髫髻山组火山岩相近(表1)。髫髻山组火山岩中的 δEu 为1.14~1.26, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为1.63~2.11, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为0.11~0.48, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为0.23~3.17,上述火山岩中的稀土元素参数值与萤石稀土元素参数值大体相近(表2),即萤石矿中的 δEu 为1.13~1.27, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为1.53~2.61, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为0.08~0.92, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为0.18~3.08。上述结果表明,区内萤石矿的成矿物质来源于中生界侏罗系髫髻山组火山岩和中元古界碳酸盐岩。综上所述,该区域内萤石矿的成矿地质体为中元古界碳酸盐岩和中生界侏罗系髫髻山组火山岩。

4 成矿构造与成矿结构面

从矿床(点)空间产出位置看,区内萤石矿床主要

表 1 义县地区萤石矿床萤石、赋矿围岩及火山岩中的 Sr 同位素组成

Table 1 Sr isotope compositions of fluorite, host rock and volcanic rocks of the fluorite deposits in Yixian area

矿区	样品名称	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	资料来源
三宝屯	萤石	1.1900	146.0	0.023590	0.708509±0.000014	文献[16]
三宝屯	萤石	0.3724	404.6	0.002664	0.708476±0.000013	文献[16]
姚家沟	萤石	0.8735	595.7	0.004243	0.708533±0.000014	文献[16]
三宝屯	灰岩	1.454	421.00	0.009983	0.708826	本文
姚家沟	灰岩	5.465	96.19	0.163400	0.706043	本文
三宝屯	髻髻山组火山岩	71.400	832.90	0.247600	0.708584	本文
三宝屯	髻髻山组火山岩	181.200	363.30	1.430000	0.708678	本文
姚家沟	髻髻山组火山岩	197.100	357.30	1.587000	0.707382	本文

表 2 义县地区萤石矿床萤石及髻髻山组火山岩中稀土元素组成特征参数表

Table 2 Characteristic parameters of REEs in fluorite and volcanic rocks of Tiaojishan Formation in Yixian area

矿区	样品编号	δEu	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	(La/Yb) _N	资料来源
三宝屯萤石矿	SBT-9	1.27	0.36	1.88	0.90	文献[15]
三宝屯萤石矿	ZS-BT-4	1.15	0.08	2.61	0.20	文献[15]
刘龙台萤石矿	YJG-3	1.13	0.09	1.53	0.18	文献[15]
头道河乡萤石矿	XS-3	1.28	0.92	2.26	3.08	文献[15]
髻髻山组火山岩	Y1	1.14	0.48	2.11	3.17	本文
髻髻山组火山岩	Y2	1.23	0.31	1.96	0.23	本文
髻髻山组火山岩	Y3	1.16	0.11	1.63	1.12	本文

分布于 NNE 向、NW 向断裂附近(图 1)。两组断裂构造与萤石矿关系较为密切,主要表现在以下 2 个方面:1)区内萤石矿床(点)的空间分布受断裂构造控制,萤石矿床(点)的产出地段,大部分含矿构造为 NNE 向和 NW 向断裂,同时,由规模不等的矿床组成的成矿带或成矿区的展布方向也多为 NNE 向;2)区内断裂构造为成矿热液的运移提供了有利通道,主要表现为成矿热液沿断裂构造向围岩运移,随物理化学条件的变化,在成矿有利地段形成矿体。

区内萤石矿的成矿结构面主要有构造成矿结构面和岩性界面成矿结构面 2 种类型,其中构造成矿结构面主要有构造破碎带和节理裂隙,构造破碎带以层间破碎带为主,为成矿提供有利赋存空间(图 4a);区内

的节理裂隙不仅是矿液上升的良好通道,同时也提供了储矿空间(图 4b)。岩性界面是指地层岩性组合界面,以三宝屯大型萤石矿床为例,其岩性界面成矿结构面为中元古界角砾状微石英岩、灰岩、泥质灰岩、硅化灰岩之间的接触界面,矿体多产于上述不同岩性接触界面中。

5 成矿作用特征标志

义县地区萤石矿床的成因类型主要为热液充填型^[21],目前发现的萤石矿床(点)多数产于中元古界碳酸盐岩中^[16],其空间分布严格受 NNE 向及 NW 向断裂控制(图 1)。矿体形态受地层岩性界面控制,主要以层状、似层状产出,矿石类型主要为萤石-石英脉型,

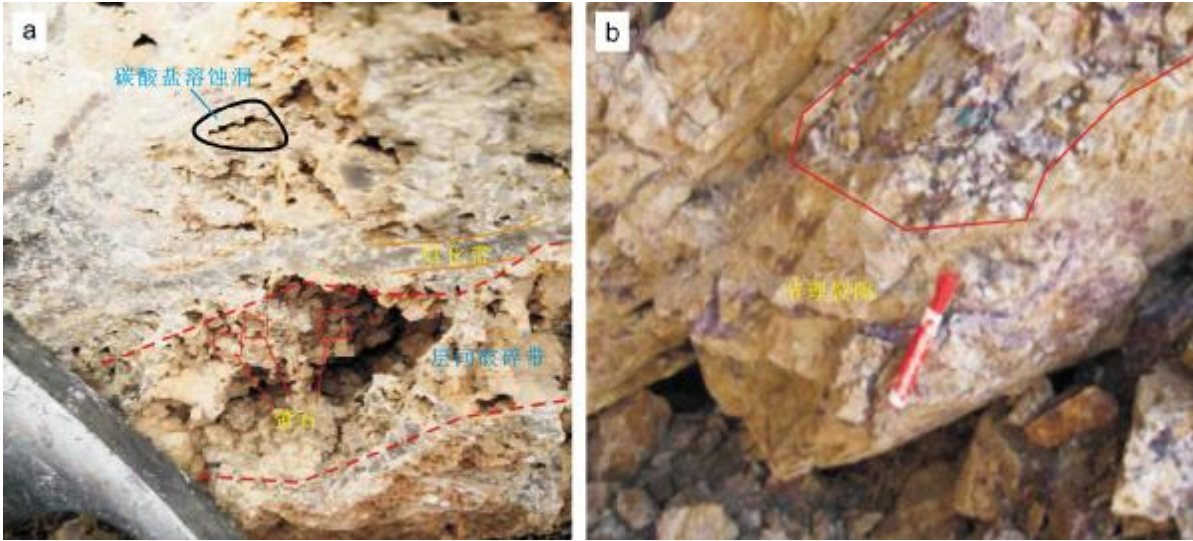


图 4 研究区萤石矿野外照片

Fig. 4 Field photographs of fluorite ores in the study area

a—姚家沟萤石矿(Yaojiagou fluorite deposit); b—老虎洞萤石矿(Laohudong fluorite deposit)

其次为重晶石-萤石型,主要矿物成分为萤石、石英,次要矿物成分为方解石、重晶石并含有少量的白云石、黄铁矿等.围岩蚀变以萤石矿化、重晶石化、硅化为主.1:5 万水系沉积物测量结果显示,区内分布多处 F 元素异常,多呈不规则串珠状沿 NE 向展布,其异常下限值为 $1\,071\times10^{-6}$.区内分布 2 处总体呈 NE 向展布的 CaO 异常,其异常下限值为 3.7%.在空间上, F 与 CaO 二者异常套合性较好,且区内萤石矿床(点)多产于异常套合性较好地段内.据流体包裹体研究显示^[16],成矿流体为低温低盐度流体,均一温度为 130~150 ℃,萤石矿中流体盐度为 2.0%~2.25%(NaCl 当量,质量分

数), pH 值为 5.5~5.8.此外,孙祥等^[16]运用 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{N}}$ - $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{N}}$ 和 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{N}}$ -10000/Sr 图解(图略)指示义县地区萤石矿的成矿流体不是由不同性质的流体混合而成,认为成矿流体源于髫髻山组火山岩热液.

6 “三位一体”地质找矿预测模型

综合义县地区萤石矿床“三位一体”地质找矿预测模型要素(表 3),认为中生界侏罗系髫髻山组火山岩和中元古界碳酸盐岩是区内萤石矿的成矿地质体;成矿构造为 NNE 向、NW 向断裂,成矿结构面为层间破碎带和节理裂隙;蚀变标志为萤石矿化、重晶石化、硅

表 3 义县地区萤石矿“三位一体”要素特征表

Table 3 “Trinity” metallogenic characteristics of fluorite deposit in Yixian area

分类	成矿要素	具体内容
成矿地质体	成矿物质来源	中生界侏罗系髫髻山组火山岩和中元古界碳酸盐岩
	赋矿围岩	中元古界长城系和蓟县系碳酸盐岩
成矿构造与结构面	成矿构造	断裂构造为主,矿床空间分布受 NNE 向、NW 向断裂控制
	成矿结构面	包括层间破碎带和节理裂隙,不仅为矿液运移提供良好的通道,也为成矿提供赋存空间
成矿作用特征	矿物组合	主要矿物为萤石、石英,次要矿物为方解石、重晶石,含少量白云石、黄铁矿等
	围岩蚀变	萤石矿化、硅化、重晶石化
	地球化学异常特征	F 和 CaO 异常套合性较好
	流体包裹体特征	成矿流体均一温度 130~150 ℃,流体盐度 2.0%~2.25%, pH 值 5.5~5.8

化,地球化学标志为 F 和 CaO 异常套合性较好地段.根据研究成果,建立了义县地区萤石矿的区域成矿找矿模型(图 5),认为该区域内萤石矿的成矿类型与三宝屯大型萤石矿相似.此外,值得注意的是,区内巴图营子及地藏寺一带分布多处 F 化探异常,而异常主要产于中生界白垩系义县组 and 侏罗系土城子组地层内,在这 2 组地层中是否会产生萤石矿,以及化探异常与地层有何成因联系还有待进一步研究.

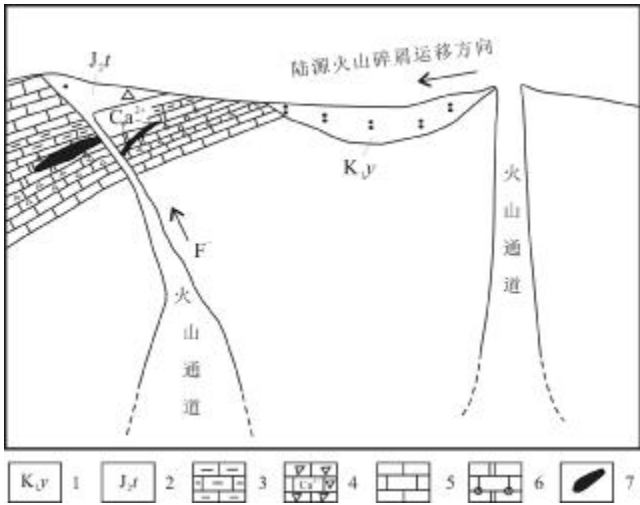


图 5 区域成矿找矿模型

Fig. 5 Regional ore-forming and prospecting model

1—中生界白垩系义县组 (Mesozoic Cretaceous Yixian fm.); 2—中生界侏罗系髫髻山组 (Mesozoic Jurassic Tiaojishan fm.); 3—泥质灰岩 (argillaceous limestone); 4—角砾状灰岩 (brecciated limestone); 5—灰岩 (limestone); 6—燧石条带白云质灰岩 (flint banded dolomite limestone); 7—预测萤石矿体 (predicted fluorite orebody)

7 结论

(1)通过对义县地区萤石矿的成矿地质体、成矿构造和成矿结构面、成矿作用特征标志的总结,认为该区域萤石矿的成矿地质体为中元古界碳酸盐岩及中生界侏罗系髫髻山组火山岩;成矿构造为 NNE 向、NW 向断裂构造,成矿结构面为层间破碎带及岩性界面;成矿作用蚀变标志为硅化、萤石矿化、重晶石化等,地球化学异常特征为 F 和 CaO 异常套合性较好,成矿热液来源于髫髻山组火山岩热液.

(2)通过对该区域萤石矿床“三位一体”找矿预测模型的建立,为今后在该区域内开展寻找热液充填型萤石矿提供借鉴.

参考文献 (References):

[1]张福良,何贤杰,杜轶伦,等.关于我国战略性新兴产业几个重要问题的思考[J].中国矿业,2013,22(10):7-11.
Zhang F L, He X J, Du Y L, et al. Discussion on the related strategic mineral resources of strategic emerging industries [J]. China Mining Magazine, 2013, 22(10): 7-11.

[2]郭佳,易继宁,王慧.全球主要战略性矿产名录评价因素对比研究[J].现代矿业,2018(12):1-5.
Guo J, Yi J N, Wang H. Comparative study on evaluation factors of significant strategic mineral [J]. Modern Mining, 2018(12): 1-5. (in Chinese)

[3]孙玉梅.内蒙古萤石矿资源开发利用动态分析与建议[J].中国地质调查,2015,2(3):10-13.
Sun Y M. Dynamic analysis and suggestion of fluorite exploitation and utilization in Inner Mongolia [J]. Geological Survey of China, 2015, 2(3): 10-13.

[4]王成辉,王登红,刘善宝,等.战略新兴矿产调查工程进展与主要成果[J].中国地质调查,2022,9(5):1-14.
Wang C H, Wang D H, Liu S B, et al. Progresses and main achievements on strategic emerging minerals survey project [J]. Geological Survey of China, 2022, 9(5): 1-14.

[5]Sai B A V S L, Niju S, Meera B K M, et al. Optimization and modeling of biodiesel production using fluorite as a heterogeneous catalyst [J]. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2019, 41(15): 1862-1878.

[6]李雪,章子源,谢建强.含氟环氧树脂的研究进展[J].中国胶粘剂,2019,28(4):48-53.
Li X, Zhang Z Y, Xie J Q. Research progress of fluorinated epoxy resin [J]. China Adhesives, 2019, 28(4): 48-53.

[7]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 C X, Shang P Q, Jiao S, et al. Geological characteristics and genesis analysis of fluorite deposits in Harqin Banner area of Inner Mongolia [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(6): 79-87.

[8]樊玉朋,孙志伟,张兴康,等.冀西北康保一带成矿条件分析及找矿方向研究[J].中国地质调查,2019,6(6):63-71.
Fan Y P, Sun Z W, Zhang X K, et al. Metallogenic conditions analysis and prospecting direction study in Kangbao area of Northwest Hebei [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(6): 63-71.

[9]柴璐,周永恒,吴涛涛,等.蒙古国矿产资源与矿业投资环境分析[J].地质与资源,2023,32(2):140-145,167. doi: 10.13686/j.cnki.dzyz.2023.02.002shu.
Chai L, Zhou Y H, Wu T T, et al. Mineral resources and mining investment environment in Mongolia [J]. Geology and Resources, 2023, 32(2): 140-145, 167. doi: 10.13686/j.cnki.dzyz.2023.02.002.

[10]张彦生,王亮,高永璋.内蒙古林西县水头萤石矿床地质特征、类

- 型及其开发利用价值[J]. 中国地质, 2023, 50(3): 795–805.
- Zhang Y S, Wang L, Gao Y Z. Geological characteristics, types and development and utilization value of Shuitou fluorite deposit in Linxi, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2023, 50(3): 795–805.
- [11] 马红义, 张博, 张娅, 等. 河南栾川县马丢大型萤石矿矿床地质特征及其找矿潜力预测[J]. 中国地质, 2024, 51(4): 1161–1174.
- Ma H Y, Zhang B, Zhang Y, et al. Geological characteristics and prospecting potential of the Madiu large-scale fluorite deposit in Luanchuan County, Henan Province[J]. *Geology in China*, 2024, 51(4): 1161–1174.
- [12] 梁成, 杨永. 四川马边地区筇竹寺组发现与铅锌矿共生的萤石矿[J]. 地质与资源, 2022, 31(1): 121. doi: 10.13686/j.cnki.dzyz.2022.01.015.
- Liang C, Yang Y. A Cambrian fluorite deposit associated with Pb-Zn ore in Sichuan Province[J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(1): 121. doi: 10.13686/j.cnki.dzyz.2022.01.015.
- [13] 左建, 孔庆瑞. 地藏寺萤石矿地质特征及矿床成因[J]. 辽宁地质, 1984(4): 350–360.
- Zuo J, Kong Q R. The geological features and the formation causes of the mineral deposits of Dicangsi fluorite mine in Yi County[J]. *Liaoning Geology*, 1984(4): 351–360.
- [14] 徐大地, 王文武, 王生志, 等. 辽宁义县萤石矿床成矿与构造的关系[J]. 化工矿产地质, 2004, 26(2): 92–96.
- Xu D D, Wang W W, Wang S Z, et al. The relationship of structure and ore-forming on fluorite deposit in Yixian, Liaoning[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2004, 26(2): 92–96.
- [15] 孙祥, 杨子荣, 刘敬党, 等. 义县萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. 矿床地质, 2008, 27(5): 579–586.
- Sun X, Yang Z R, Liu J D, et al. REE geochemistry of fluorite from Yixian fluorite deposit and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(5): 579–586.
- [16] 孙祥, 杨子荣, 王永春, 等. 辽西义县萤石矿床 Sr 同位素组成及成因[J]. 地质科技情报, 2009, 28(1): 82–86.
- Sun X, Yang Z R, Wang Y C, et al. Sr isotopic composition and genesis in Yixian fluorite deposit[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(1): 82–86.
- [17] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 2014, 1–702.
- Ye T Z, Lü Z C, Pang Z S, et al. Metallogenic prognosis theories and methods in exploration areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014, 1–702. (in Chinese)
- [18] 张寿庭, 曹华文, 郑路, 等. 内蒙古林西水头萤石矿床成矿流体特征及成矿过程[J]. 地学前缘, 2014, 21(5): 31–40.
- Zhang S T, Cao H W, Zheng L, et al. Characteristics of ore-forming fluids and mineralization processes of the Shuitou fluorite deposit in Linxi, Inner Mongolia Autonomous Region[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(5): 31–40.
- [19] 杨子荣, 刘敬党, 孙祥, 等. 辽宁省萤石矿资源评价与研究[R]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.
- Yang Z R, Liu J D, Sun X, et al. Evaluation and research of fluorite mineral resources in Liaoning Province[R]. Fuxin: Liaoning University of Engineering and Technology, 2007. (in Chinese)
- [20] 张立东, 张长捷, 彭艳东, 等. 辽宁省北票市、上园镇、地藏寺和义县四幅 1:5 万区域地质调查[R]. 沈阳: 沈阳地质矿产研究所, 2003: 1–78.
- Zhang L D, Zhang C J, Peng Y D, et al. The 1:50 000 regional geological survey report of Beipiao City sheet (K51E014001), Shangyuan Town sheet (K51E015004), Yixian sheet (K51E015005) and Dizangsi sheet (K51E016004)[R]. Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, 2003: 1–78. (in Chinese)
- [21] 赵东博. 锦州地区萤石成矿作用分析[J]. 能源与节能, 2022(9): 29–31, 89.
- Zhao D B. Fluorite mineralization in Jinzhou area[J]. *Energy and Energy Conservation*, 2022(9): 29–31, 89.