

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.01.010

# 湘西大脑坡矿区沉积-断裂构造特征及其对 铅锌成矿控制作用

刘敏<sup>1,2,3</sup>, 毛党龙<sup>1,3,4</sup>, 周旭林<sup>1,3,4</sup>, 周皓迪<sup>1,3</sup>

(1. 湖南省国土资源规划院, 湖南长沙 410114; 2. 湖南地科院规划设计有限公司, 湖南长沙 410114; 3. 国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 湖南长沙 410114; 4. 湖南省矿产资源储量评审中心, 湖南长沙 410114)

**摘要:**为了明确大脑坡矿区沉积和断裂构造特征,以及沉积和断裂构造对铅锌成矿控制作用,笔者从大脑坡矿区沉积-断裂构造特征出发,识别了大脑坡矿区生物礁沉积,并进一步将大脑坡矿区主要断裂系统划分为 3 个断裂带,即花垣-张家界断裂带(F1 为主断层)、阿碧林场-清水塘断裂带(F2 为主断层)、开支铺-凉水井断裂带(F3 为主断层)。通过分析断裂活动期次与成矿关系,将断裂系统划分为 3 个类型,即区域继承性断裂、成矿期断裂及成矿后断裂。其中,区域继承性断裂以花垣-张家界断裂为主;成矿期断裂主要为阿碧林场-清水塘断裂带的 F2、F108 及 F2-1 断裂;成矿后断裂受成矿后构造应力复杂多变的影响,分布和展布形态较为复杂,全区均有发育。结合大脑坡矿区清虚洞组沉积环境、断裂构造与成矿相互关系分析,认为大脑坡矿区主要成矿模式为深部矿液通过区域继承性断裂及成矿期断裂向上迁移,经过藻灰岩层时,有利的容矿空间使成矿流体发生交代和沉淀作用,富集成矿。同时进一步总结了大脑坡矿区铅锌矿成矿规律,认为区域性继承性大断裂(花垣-张家界断裂带)控制着整个矿田的延伸分布特征,藻礁相与成矿期断裂的复合部位是良好的矿床定位空间,控制着富矿体的大小及规模;成矿期断裂构造带上进一步密集发育节理和次级断裂的部位往往也是矿体产出的集中区域。

**关键词:**大脑坡矿区;沉积;断裂;断裂系统;控矿模式;有利区

中图分类号:P618.4

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)01-0129-13

## Tectonic Features of Deposition and Faults of Danaopo Mining Area in Western Hunan and the Controlling Effect on Pb-Zn Mineralization

LIU Min<sup>1,2,3</sup>, MAO Danglong<sup>1,3,4</sup>, ZHOU Xulin<sup>1,3,4</sup>, ZHOU Haodi<sup>1,3</sup>

(1. Hunan Provincial Land and Resources Planning Institute, Changsha 410114, Hunan, China; 2. Hunan Academy of Geosciences Planning and Design Co., Ltd., Changsha 410114, Hunan, China; 3. Hunan Provincial Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Utilization, Changsha 410114, Hunan, China; 4. The Mineral Resources and Resources Evaluation Center of Hunan, Changsha 410114, Hunan, China)

**Abstract:** In order to clarify the tectonic features of deposition and faults in Danaopo mining area

收稿日期:2020-06-18;修回日期:2021-05-31;网络发表日期:2021-12-06;责任编辑:许英

基金项目:湖南省矿产资源储量评审中心国家矿产资源储量技术标准体系建设项目之子课题“重要有色金属与贵金属及稀土稀有矿床合理勘查程度研究”(CB2015-2-5)资助。

作者简介:刘敏(1985-),男,工程师,从事地质矿产勘查工作。E-mail:chuang\_le@qq.com。

and the controlling effect on the Pb-Zn mineralization, this paper identified the reef deposits of this area and divided the main fault systems into three fault systems: Huayuan-Zhangjiajie fault zone ( $F_1$  main fault), Abilinchang-Qingshuitang fault zone ( $F_2$  main fault) and Kaizhipu-Liangshuijing fault zone ( $F_3$  main fault) Layer). The fault systems are further divided into three types based on the relationship between the stages of fault activity and mineralization: regional inherited fault, metallogenic fault and post metallogenic fault. The regional inherited fault is mainly Huayuan-Zhangjiajie fault; the fault in the metallogenic period is mainly  $F_2$ ,  $F_{108}$  and  $F_{2-1}$  faults in Abilinchang-Qingshuitang. The distribution of the post metallogenic fault, which develops in the whole area, is more complicated because of the post metallogenic tectonic stress. Based on the relationship between the sedimentary environment, the fracture structure and the mineralization of Qingxudong Formation in Danaopo mining area, it is considered that the main metallogenic model is that when the deep ore fluid moves upward in the metallogenic period by the algal limestone through the regional inherited faults, the metallogenic fluid in the ideal space undergoes metasomatism and deposition, forming the mineralization. The authors thus summarize the metallogenic law of lead-zinc deposits in Danaopo mining area and believe that the regional inherited large fault (Huayuan-Zhangjiajie fault zone) controls the extension and distribution of the whole ore field. The joints and the secondary faults in the metallogenic period is the concentrating area of high-grade ore body.

**Keywords:** Danaopo mining area; deposition; fault; fault system; ore controlling model; favorable mineralization area

目前,对湘西花垣铅锌矿床类型的认识日渐趋于一致,认为湘西花垣铅锌矿床是层控型金属矿床,类似于美国密西西比铅锌矿床,即MVT型铅锌矿床(杨绍祥等,2007;刘文均等,2000;匡文龙等,2008;周云等,2011;薛长军等,2017)。但花垣地区铅锌矿床具有明显的“沉积-改造”特征,在早期形成矿源层后,经过晚期构造或盆地热卤水的叠加改造形成矿床,属沉积改造型矿床(杨绍祥等,2007;毛党龙,2016;任爱君等,2017;付胜云等,2018)。这使得花垣铅锌矿床的控矿模式、矿体发育规律与典型的MVT型铅锌矿床存在较大差异,需要进一步深化认识以推动花垣铅锌矿床的找矿探矿工作(雷义均等,2013;薛长军等,2017)。

通过大脑坡矿区铅锌矿普查工作,初步查明了该矿区地层、构造、地表矿化等地质条件,并提交了亿吨级的铅锌矿石资源量,同时对控矿因素提出了初步认识:①矿体分布严格受下寒武系统清虚洞组下段第三、四亚段( $\in_1 q^{1-(3+4)}$ )礁灰岩控制。②花垣-张家界断裂控制礁带发育,且主要矿床发育于该断裂带两侧礁体中,矿体规模、数量、品位均与断裂带距离有明显的相关关系。但是随着大脑坡矿区转

入进一步勘探、勘查后,发现在花垣-茶洞断裂带附近的钻孔中下寒武系统清虚洞组下段第三、四亚段礁相灰岩见矿条件一般,甚至不含矿;而距离该断裂带一定距离的下寒武系统清虚洞组下段第三、四亚段的厚层粉细晶白云岩中可见厚度可观、品位较高的工业铅锌矿体,显示出沉积环境和断裂构造对成矿控制作用的复杂性。为了进一步明确大脑坡矿区沉积-构造对铅锌成矿的控制作用,笔者拟从大脑坡矿区沉积和断裂构造特征出发,通过分析成矿与沉积环境以及断裂构造的相互关系,总结该区域成矿规律,以指导大脑坡矿区乃至花垣铅锌矿田的勘查。

## 1 矿区地质背景

花垣铅锌矿田位于扬子准地台-上扬子地块东南部边沿与江南地块过渡带上的铜仁-花垣-张家界褶皱冲带内,是湘黔铅锌矿带的一部分(陈明辉等,2011)。区内广泛分布古生界沉积岩-浅变质岩,褶皱构造简单,断裂较为发育,岩浆岩不发育。花垣铅锌矿田内有著名的渔塘矿田铅锌矿,北起杨家寨,南至老虎冲,包括杨家寨、大脑坡、李梅、芭茅寨、太阳

山、长凳坡和老虎冲等矿区;构造呈北东—北东东向延伸,表现为加里东、印支、燕山、喜山运动等多期构造运动叠加。该地区以地台边缘长期拗陷沉积区为沉积背景,以滨海—浅海相碳酸盐岩和生物碎屑岩沉积为主,地层发育较全,以寒武系发育最完整,分布最广泛。

大脑坡矿区是花垣铅锌矿田重要组成部分,位于花垣铅锌矿田李梅矿区的北段东侧,花垣-张家界断裂以南。大脑坡矿区构造相对简单,整体表现为

一倾向南东的单斜构造,断裂相对发育(图 1)。矿区铅锌矿主要产于下寒武统清虚洞组下段第三、四亚段,含矿地层产状倾向为  $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$ ,倾角为  $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。矿带受寒武清虚洞期台地边缘浅滩相沉积控制,清虚洞组下段第三、四亚段( $\epsilon_1q^{1-3+4}$ )沉积时期形成的造礁(丘)环境,发育质纯、性脆并具高孔隙度的藻灰岩,组成角弄-毛沟礁体,是矿区内主要容矿地质体。

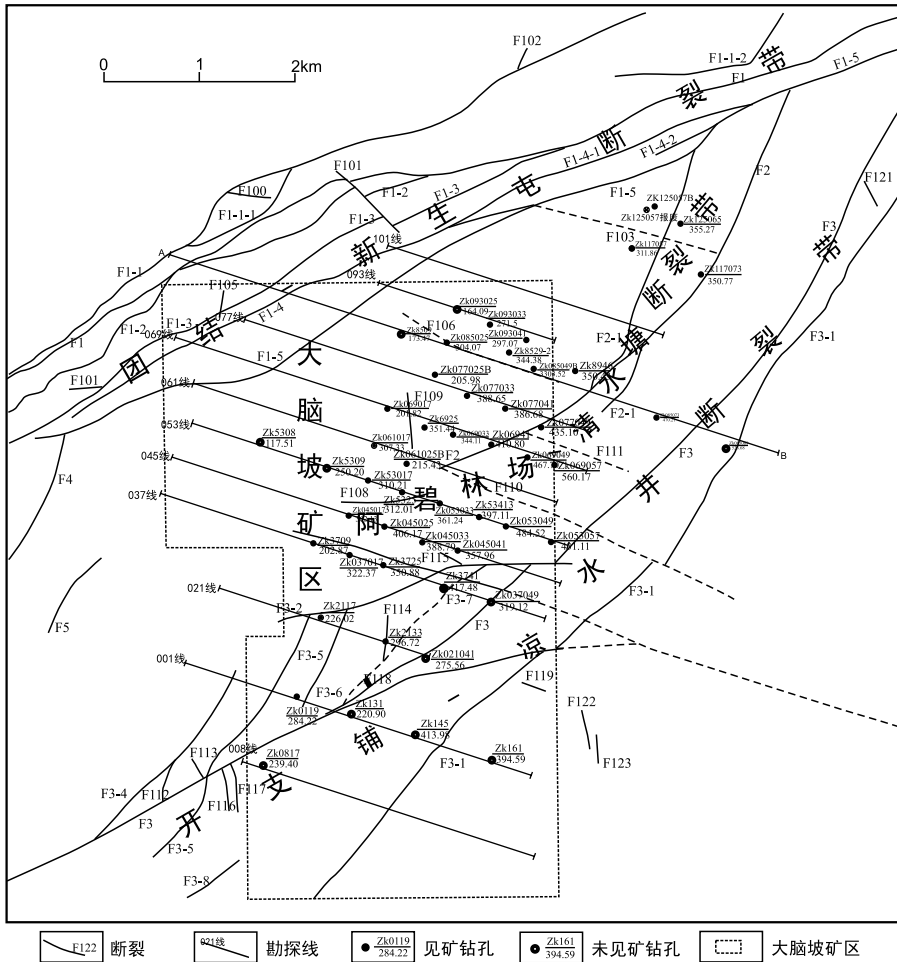


图 1 大脑坡矿区构造简图(据湖南省地勘局 405 队修改)

Fig. 1 Structural diagram of Danaopo mining area (by Geological Survey Team 405 of Hunan Province)

目前,矿区已发现矿体 113 个,其中大型矿体 3 个(Ⅲ1、Ⅸ1 和 X1 矿体),中型矿体 7 个,其余为小型矿体。Ⅲ1 矿体为矿区最大矿体,分布于 37~81 线,走向长度为 2 200 m,倾向延深 950~1 800 m,一般为 1 300~1 400 m,呈似层状分布,在走向和倾

向上均出现膨大和狭缩现象,呈现出藕节状似层状形态;矿体的厚度为 0.66~45.95 m,平均为 9.80 m,厚矿体主要呈岛状在 41~59 线西部密集分布,薄矿体主要分布在 53~59 线矿体中、东部,并形成明显的薄矿区带。相对而言,Ⅲ1 矿体的厚度较稳定,有

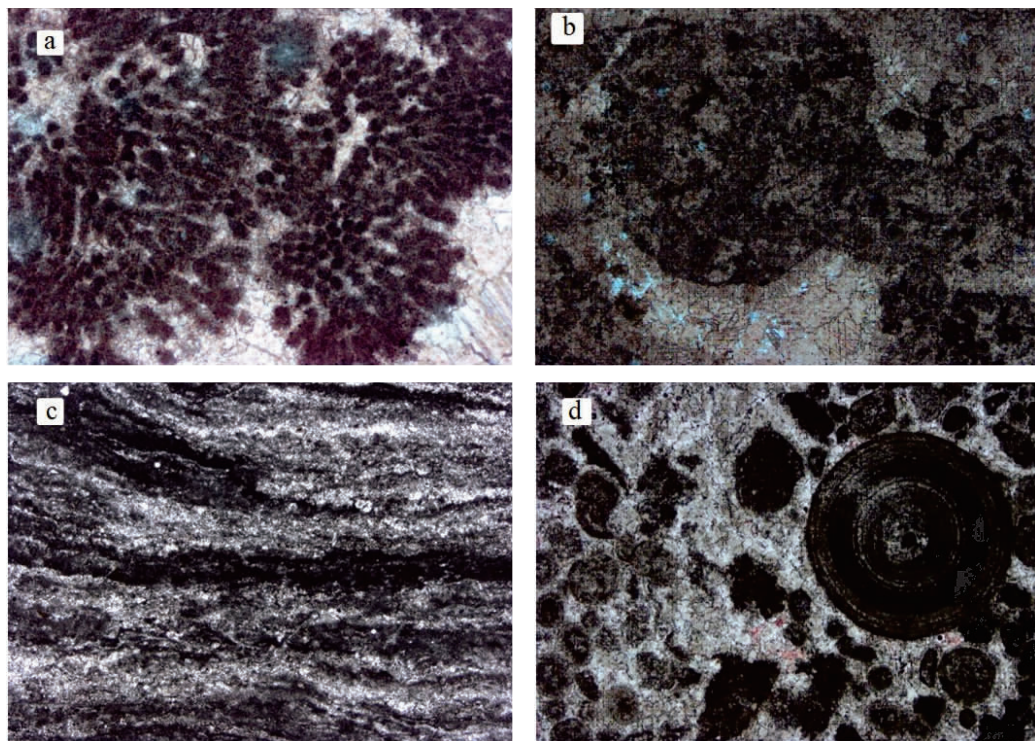
用组分分布较均匀。Ⅺ1矿体分布于37~85线,走向长度为2 500 m,倾向延深为400~2 300 m,一般为1 400~1 700 m,呈似层状、透镜状,略呈波状起伏;矿体倾向南东,倾角为 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ;Ⅺ1矿体的内部连续性总体尚好,内部天窗和港湾状的缺口较多;矿体厚度较稳定,有用组分分布较均匀。Ⅺ1矿体分布于37~81线,走向长度为2 300 m,倾向延深为300~1 800,一般为700~1 300 m;呈似层状、局部透镜状,矿体略呈波状起伏;矿体倾向南东,倾角为 $3^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ;Ⅺ1矿体总体连续,矿体内部天窗较多,为较稳定矿体,有用组分分布较均匀。从整个矿区矿体的分布来看,大脑坡矿区矿体平面分布总体相对集中,北西侧的单个矿体厚度以及矿体数量明显不如深部南东侧矿体。

## 2 矿区沉积环境

根据沉积体系划分原则(贾振远等,1989),大脑坡矿区清虚洞组属于枢纽带碳酸盐沉积体系特征。清虚洞组下段第三、四亚段主要沉积环境为台地边

缘礁藻丘体沉积,礁藻丘体的分布并不严格呈线状,礁藻丘体并非连续生长,呈局部间断,常与鲕粒灰岩交互产出,具有明显的旋回性。

清虚洞组下段第三亚段亚段( $\in_1 q^{1-3}$ )为一套上台缘障壁海藻礁灰岩建造,在角弄—团结镇—阿碧一带有出露。岩性主要为灰—浅灰色巨厚层状(或块状层)泥晶—细晶藻灰岩(图2a),顶部底部夹灰色厚—巨厚层状亮晶藻屑灰岩(图2b)和砂屑灰岩。矿区中部较厚两侧薄,东部至拐带坡附近(排楼矿区)发生相变,藻灰岩消失。该时期由于局部水流出现差异,形成造礁(丘)环境,发育礁前砂坝、前礁、礁(丘)核、后礁、礁后泻湖沉积。礁核几乎全为藻礁灰岩,藻类组合复杂;后礁沉积有藻礁灰岩,夹杂砂屑、鲕粒灰岩,藻类组合相对简单;礁后泥坪沉积以灰岩为主,泥质、云质含量较高且呈团块状分布,水动力相对弱;前礁为藻礁灰岩与砂屑灰岩混合沉积,藻类组合简单,泥(云)质物少,水动力相对强;礁前砂坝主要为具泥晶—细灰晶云岩,局部见生物屑白云岩、藻叠层石白云岩(图2c)。



a. 表附藻灰岩, ZK61049; b. 亮晶藻屑藻团块灰岩, ZK8549; c. 藻叠层石白云岩, ZK85089; d. 去云化灰质鲕粒藻团白云岩, ZK8549

图2 大脑坡矿区清虚洞组下段第三、四亚段主要岩性特征图

Fig. 2 Main lithological characteristics of  $\in_1 q^{1-3+4}$  in Danaopo mining area

清虚洞组下段第四亚段( $\in_1 q^{1-4}$ )为大脑坡铅锌矿床次要赋矿层位,在角弄-团结镇-阿碧一带有出露。该时期随着海平面降低,水中  $\text{CO}_2$  含量相对增多,藻类因生态环境的改变而减慢至停止生长,藻礁逐渐消亡,后期白云化程度较高。岩性多为灰色-浅灰色亮晶、泥晶粒屑、鲕粒灰岩(图 2d),呈厚-巨厚层状产出,与下伏清虚洞组下段第三亚段界限

不明显。

经过清虚洞组下段第三-四亚段的沉积,大脑坡矿区的角弄-毛沟礁体基本形成。角弄-毛沟礁体垂向上呈现出间断性和藻灰岩-砂屑/鲕粒灰岩韵律性特征,总体上礁体由南往北、从东往西发展,礁核位置向西移动(图 3)(郑荣才等,1988;汤朝阳等,2012)。

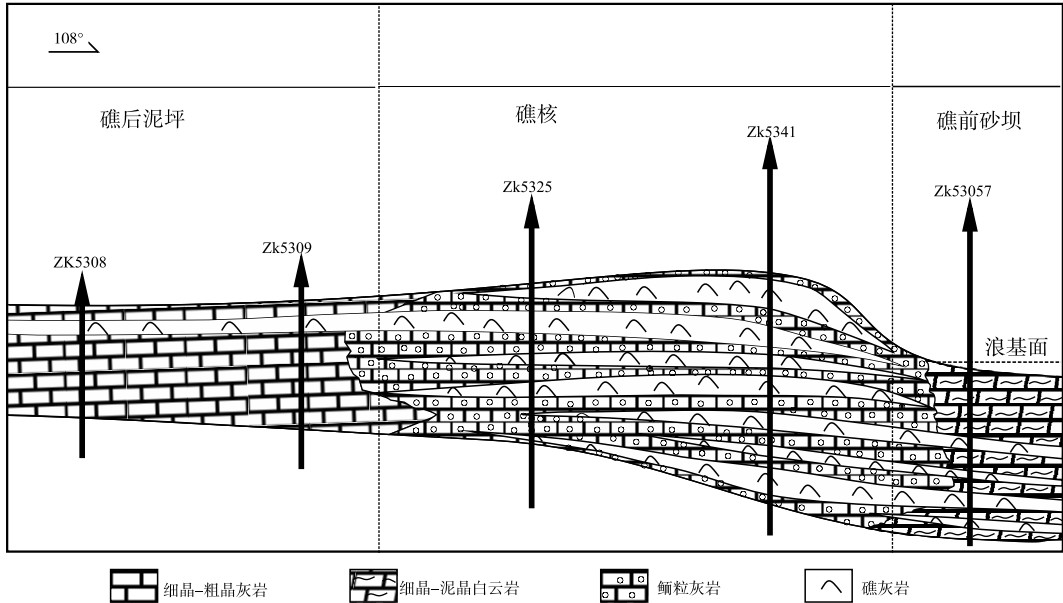


图 3 大脑坡矿区清虚洞组下段第三、四亚段亚段生物礁沉积相模式图

Fig. 3 Bioreef sedimentary facies model of  $\in_1 q^{1-3+4}$  in Danaopo mining area

### 3 断裂构造基本特征

在花垣铅锌矿田已发现的铅锌矿主要分布于花垣-张家界深大断裂带与保靖-铜仁-玉屏断裂带之间(张志斌等,2006)。断裂构造是大脑坡矿区主要构造行迹,断层主要发育于矿区中部和西北部区域,多呈北东向、北东东向展布,局部地区发育北西西向延伸断层(毛党龙,2016)。断裂系统呈现出明显的分区、分带特征,可分为 3 个断裂带(表 1):即花垣-张家界断裂带(F1 为主断层)、阿碧林场-清水塘断裂带(F2 为主断层)、开支铺-凉水井断裂带(F3 为主断层)。

#### 3.1 花垣-张家界断裂带

花垣-张家界断裂带位于杨家寨和大脑坡之间,属于慈利-凯里断裂带北段,走向北东,呈弧形弯曲,主要表现为压扭性特征,地表局部表现为剪切走滑

特征。花垣-张家界断裂带主断面倾向南东,倾角变化较大,总体陡倾;破碎带宽 10~100 m,地层断距超过 100 m。花垣-茶洞断裂一直被认为是花垣铅锌矿田的北边界,但断裂带北部杨家寨矿段的勘探成果显示,该断裂带北部也见成矿,为区域性控岩、控矿断裂,断裂带具有长期活动的性质(高伟利,2014;隗含涛,2017)。断裂带切割元古界、下古生界甚至中生界,为区域性深大断裂带,构造带存在大量新、旧构造擦痕和磨光面,表明该断裂具有长期活动的性质,其主活动期为燕山期。在大脑坡矿区该断裂带分支、派生出 6 条断层,即 F1、F1-1、F1-2、F1-3、F1-4、F1-5,其中 F1 为主断层,具多期次活动特点。

#### 3.2 阿碧林场-清水塘断裂带

阿碧林场-清水塘断裂带发育于矿区中部,规模较小,主要由 F2 和 F2-1 两条交叉的北东向断层和数条短小北西向断层组成。断裂总体呈弓顶朝南

表1 大脑坡矿区主要断裂基本情况表  
Tab. 1 Basic state of the main faults in Danaopo mining area

断裂带	断层编号	产状		规模		性质	断裂系统划分
		倾向(°)	倾角(°)	长度(km)	断距(m)		
花垣-张家界 断裂构造带	F1	—	65~75	大于4.1	500	左旋平移复杂断层	区域继承性断裂
	F1-1	290	67	大于7.8	—	右旋平移断层	
	F1-2	305~335	40~45	4.5	50~100	逆断层	
	F1-3	320	42	1.7	—	正-左旋平移断层	
	F1-4	北西	84	大于7.4	—	右旋平移断层	
	F1-5	北西	70	区内4.3	40~80	正断层	
阿碧林场-清水 塘断裂构造带	F2	北西	83	约5.4	水平600,垂直<50	左旋平移逆断层	成矿期断裂
	F108	181	—	0.5	—	逆断层	
	F2-1	北东东—北北东	51~53	2.8	—	正断层	
	F5	310	87	0.94	大于30	右旋平移断层	
开支铺-凉水 井断裂构造带	F3	335	60~75	大于13	—	正断层	成矿后断裂
	F112	330	87	3.8	1.5	正断层	
	F3-4	330	68	大于1.6	—	左旋平移正断层	
	F3-5	北西	60~85	1.5	小于20	正断层	
	F3-6	北西	60~85	0.6	小于20	正断层	
	F3-2	162~175	45~70	3.8	约20	右旋平移断层	
	F3-7	北西	83	2.2	小于100	逆断层	
	F3-1	北西	60~75	10.5	10~50	正断层	
	F3-3	北西	70	2.5	—	右旋平移断层	

东的弧状,北东端有与F1-5相交趋势。其中F2断层出露于矿区中部,走向由北东东逐渐转向北北东,呈弯曲状,断层切割娄山关组以下地层,断层倾向北西,倾角超过80°,局部为直立特征,断层内破碎带发育,内充填有碎裂岩,破碎带宽达数米,同时具有上盘上升和左行平移特征,表现为压扭性断层。F2-1断层位于矿区中部,从矿区中部起向北东延伸,延伸长度约8 km,走向由北东东逐渐转向北北东,呈弯曲状;该断层为正断层,倾向北西,倾角为51°~53°,断层断距小(约20 m);破碎带变化大,中部宽大两端迅速缩小,断层中部被F2左行平移切割,平移距离达600 m。除上述北东东向断层外,阿碧林场-清水塘断裂带南西端还发育有北西西—北北西向的F106、F111、F109、F103及东西向的F108等小型断层。

### 3.3 开支铺-凉水井断裂带

开支铺-凉水井断裂带发育于大脑坡矿区南部和排楼矿段中部一带,是整个矿区最为复杂的一个断裂密集带。该断裂密集带范围内断层走向不一,总体上可以分为3组,即北东东向断裂带、北北东向断裂带以及北西西向断裂带。其中北东东向断层以F3、F3-1为主,北北东向断层包括F3-2、F3-3等断层,北西西向断层包括F107、F110等,整体表现为北西西向断层切割前2组断裂带的特征,使得矿区东南部断裂带呈现出断层间穿插和限制,断裂系统进一步复杂化。

## 4 断裂系统划分

断裂活动具有间歇性,为幕式活动。大脑坡矿区沉积地层较老,经历的构造运动变化复杂,区域构

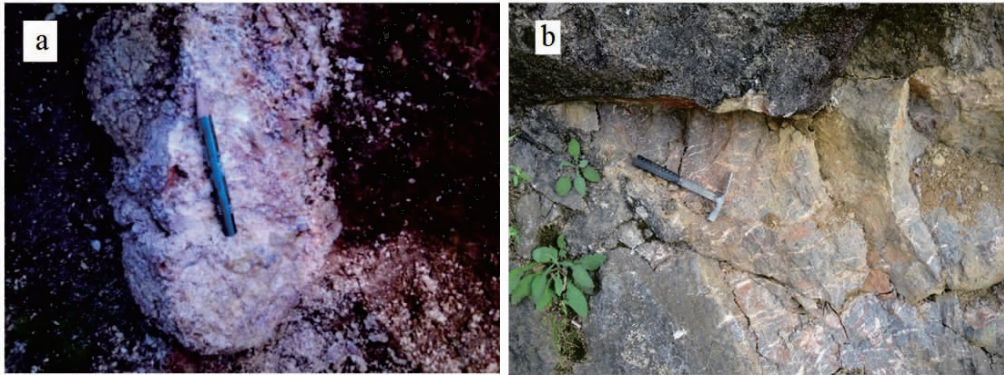


造运动造成区域应力的变化,不仅会产生新断裂,还会使得老断裂再次复活,不同时期断层活动性千差万别,断层活动性强弱反应了构造运动的剧烈程度(吕延防等,2015)。在漫长的地质历史演化过程中,花垣铅锌矿田曾经历了多次强烈的构造变动,形成了一系列颇具特色的构造形迹(段其发,2014)。通过对断裂活动期次与成矿关系分析,将断裂系统划分为 3 个类型,即区域继承性断裂带、成矿期断裂带以及成矿后断裂带(李荣清等,2000)。

#### 4.1 区域继承性断裂带

区域继承性断裂为矿化作用以前形成的断裂,并在成矿期及成矿后继续活动的断裂。常以矿化带、矿体、热液蚀变带等切割或填充断裂带及断裂带中不发育矿石角砾为特征(李荣清等,2000)。

花垣-张家界断裂带作为一条长期活动的壳源断裂带,其两侧的沉积岩相和古生物群落等特点揭示它自武陵运动以来就已存在,属于区域继承性断裂构造(杨阳等,2000)。从区域构造应力演化特征来看,湘西地区在加里东期以北西-南东挤压为主,使得花垣-张家界断裂带早期活动期表现为以压扭性特征为主。花垣-张家界断裂带形成于成矿前,但是随着后期成矿构造运动断层重新活动,在成矿作用后,区域构造应力的变化,该断裂带的性质极度复杂,不同位置断裂性质差异巨大,张性、压扭性、剪切走滑特征均有发现。花垣-张家界断裂带角砾的胶结物多为灰泥,在断层面内发育大量网脉状方解石细脉,这表明该断层在后期热液的运移过程中经历了再次结晶(图 4)。



a. 压扭性特征断层角砾岩;b. 断层面发育大量网脉状方解石细脉

图 4 大脑坡矿区 F1 断层特征图

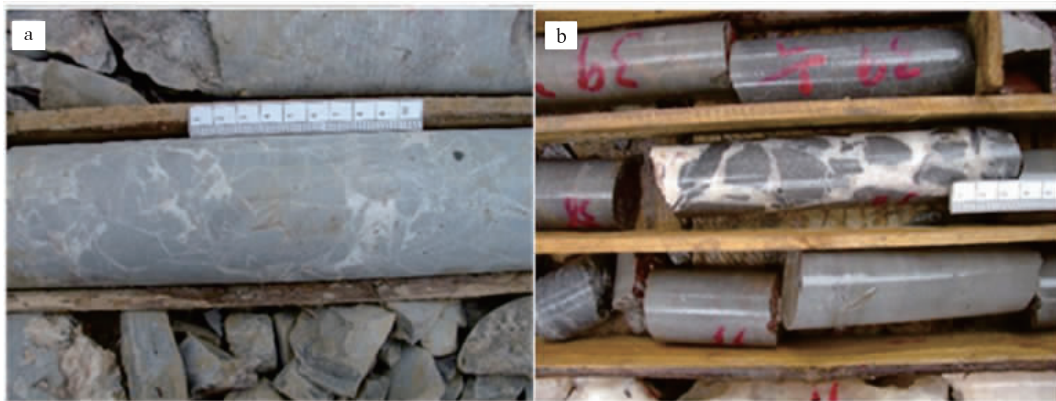
Fig. 4 F1 fault characteristics of Dananpo mining area

#### 4.2 成矿期断裂带

成矿期断裂带为从矿化作用开始到矿化作用结束之间形成的断裂组合(李荣清等,2000)。成矿期断裂是成矿热液运移富集成矿的主要通道,成矿期断裂在其形成过程中总是处于开启状态,使得成矿热液容易在其断层面内部活动,成矿热液在断层的输导作用下进入断层沟通的高孔渗地层中富集成矿,形成高品位矿体,在这个过程中断裂面以及断裂内部的角砾岩均遭受不同程度的矿化蚀变,形成液角砾岩。这种角砾岩由流体液压致裂机制形成,其特点是胶结物为流体组分分异沉淀的脉石矿物,其次是液压爆裂的围岩角砾多具有可拼贴性。液角砾岩、礁灰岩的孔隙空间可构成一个完整的容矿空间,矿质流体进入容矿空间后,由于温压及化学环

境的变化迅速发生沉淀成矿。

大脑坡矿区矿体多为花斑状(也称斑脉状),这些花斑相互连通,并在不同层位的断层面上可见到含有液角砾岩的方解石脉。在液角砾岩方解石脉中常见沿脉壁对称、晕圈矿化特征(图 5)。在 F2 断裂带中可见大量的液角砾岩脉,在脉的旁侧矿化明显较好,这组脉的方向为北东  $38^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,是控制矿体产出的构造。清水塘-老虎冲-长凳坡-土地坪-巴茅寨-李梅等矿床呈北北东向,也指示北北东深部主断裂通道的存在。F2 断裂带与 F107—F108 断裂带走向基本垂直,并交汇于 37~61 勘探线附近,形成 X 型共轭节理,由此形成 2 组相互交叉的雁行排列节理组,节理组相互切割连通形成重要的导矿和容矿空间。



a. ZK3525, 孔深 153.60~154.10 m; b. ZK3709, 孔深 59.20~59.35 m

图5 大脑坡矿区中液压力角砾岩

Fig. 5 Hydraulic breccia in Danaopo mining area

地下深部含矿热液沿成矿期断裂带运移的过程中,常在断裂带中停留或者局部溢出地表,被地表岩石或土壤吸附形成地表异常晕(董运如等,2019)。通过F2-1、F3及F3-1这几个断裂带上的地表探槽取样分析对比来看,F2-1断裂带上的Pb+Zn的含量高达 $120 \times 10^{-6} \sim 215 \times 10^{-6}$ ,明显高于F3以及F3-1断裂带(图6),显示出F2-1在成矿期存在着含矿流体的活动,属于成矿期断裂。

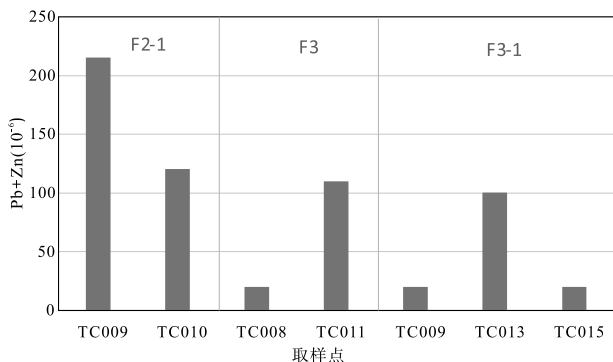


图6 大脑坡矿区中部分断裂带地表探槽中Pb+Zn含量对比图

Fig. 6 Comparison of Pb+Zn content in the surface trench of some fault zones in Danaopo mining area

### 4.3 成矿后断裂带

成矿后断裂是指形成在成矿作用以后形成的断裂。成矿后断裂主要对矿体进行改造和破坏,通常具有以下特征:断裂切穿矿体时,在断裂两侧一般能找到相对应的矿体;断裂中发育矿石角砾;断裂两侧的矿体常见氧化现象;断裂中有表生矿物填充;矿体

内可见断层滑动面、断层泥或擦痕;矿体或矿化蚀变带与围岩呈断层接触;围岩中无矿化或蚀变;断裂被成矿后脉岩所填充等(李荣清等,2000;刘丛强,2001)。

根据断层面的擦痕反演出3期成矿后断裂。印支期早阶段,在北西—南东向拉伸应力作用下形成北西—南东向拉伸,北东向左行走滑断层,矿区范围内的F3及F3-1均是该时期形成。

第二期断裂构造发生于印支晚期,在走滑挤压应力场作用下,北西—南东向挤压,北东—南西向拉伸,断层面倾角较大,形成一系列北西向、北西西向的断层,这些断层规模相对较小。如F106及F110等断层。

第三期断裂构造形成于燕山期运动,构造应力为走滑拉伸应力场,形成北北东向右行走滑断层。如F4、F3-4、F3-5和F3-6等。

从断裂活动期次与成矿关系来看,区域继承性断裂以花垣—张家界断裂为主;成矿期断裂主要为阿碧林场—清水塘断裂带的F2、F108及F2-1;成矿后断裂分布复杂,全区均有发育。

## 5 断裂—沉积控矿模式

段其发(2014)通过对花垣矿田闪锌矿Rb—Sr同位素等时线年龄分析发现,其成矿年龄为 $(410 \pm 12)$ Ma,该成矿年龄晚于赋矿地层(清虚洞组)的沉积时代,矿床属于后生矿床。自板溪群马底驿组至下寒武系统石牌组沉积时期,整个花垣矿区处在裂



谷型深水沉积环境下,盆地中的沉积物积聚了丰富的矿质,从而形成了一大套元素背景值高的“矿源层”含矿岩系(隗含涛等,2017)。区域上长期活动的花垣-张家界断裂带为含矿热液的运移提供了通道。含矿热液由下地壳沿导矿通道花垣-张家界断裂带运移并汲取下部马底驿组-石牌组中的成矿物质。在成矿期,由于构造运动趋强,阿碧林场-清水塘断裂带形成,该断裂带沟通了前期形成的花垣-张家界断裂带,使得含矿热液沿着导矿通道进入花垣-张家界断裂带后,运移方向发生改变,优先进入阿碧林

场-清水塘断裂带内,并沿该断裂带进入到上覆容矿空间。当进入到下寒武系统清虚洞组下段上部其化学性质活泼、层内藻腐孔发育、裂隙及缝合线构造发育的背斜褶皱部位且有足够的容矿空间的藻灰岩及砂、砾屑灰岩、鲕粒灰岩和塌积角砾岩中时,使含矿热液突然释放,并与围岩发生交代充填而成矿。随着含矿热液浓度和能量的消耗,加之上覆低渗透率白云岩的“遮挡”、“阻止”作用,使矿化强度降低,并逐渐消失(蔺志永,2010)(图 7)。

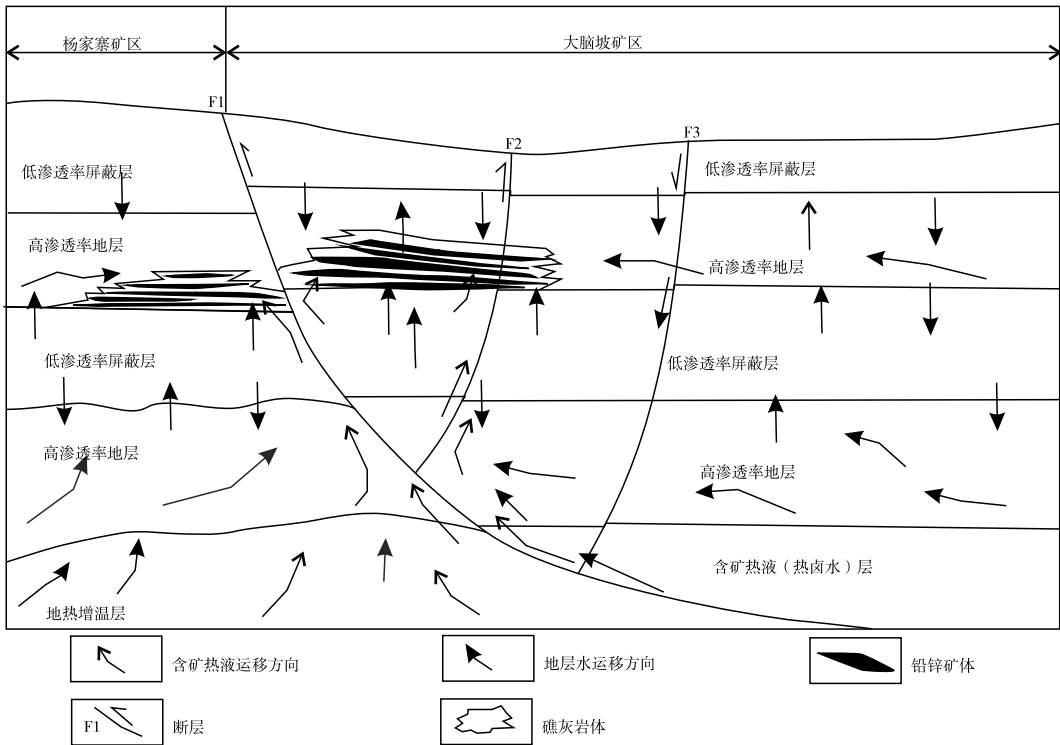


图 7 大脑坡矿区断裂控矿模式图

Fig. 7 Pattern diagram of fracture controlled mineralization in Danaopo mining area

当断层未沟通藻灰岩层或矿液充足时,矿液可能进入厚层粉-细晶灰岩中,并聚集成矿。如在 ZK053057 中礁前砂坝沉积中的巨厚层细晶灰岩中也发育一定厚度 Zn 品位达 1.5% 的矿体。另外,由于阿碧林场-清水塘断裂带附近受上覆低渗透性地层隔挡,成矿热液富集过程中同时与其中保存的油气等有机流体发生 TSR 反应,产生还原硫或使热液成分和性质发生改变,形成硫化铅锌矿(段其发,2014)。而花垣-张家界断裂带为区域性长期活动断裂,其附近的容矿圈闭无法有效保存油气等有机流

体,难以形成还原硫及规模成矿。

从已控制的矿体来看,尤其是 Pb+Zn 的百分数值超过 0.2 的矿体基本分布于成矿期断裂 F2、F108 及 F2-1 附近的礁体中,具有明显的条带状分布特征。当成矿期断裂断至厚层藻灰岩时,容矿层中的构造裂隙系统和被改造的孔隙-缝合线系统以及被交代-溶蚀的藻腐孔提供了矿液的容矿空间和沉淀场所,含矿热液在容矿空间的突然释放并与围岩发生交代充填而成矿,形成高品位富集(汤朝阳等,2013)。

## 6 成矿有利区分析

基于控矿关键因素的分析,大脑坡矿区找矿预测的关键就是找到流体的通道和容矿空间。流体的通道主要是成矿期活动的断裂带,其活动强度及其分布特征控制着成矿流体的分布;容矿空间即为控制着礁灰岩发育的礁核沉积以及与成矿期断裂相互

错断的断裂密集带。

整体上,区域性继承性大断裂(花垣-张家界断裂带)控制着整个花垣矿田的延伸展布。礁核相发育的藻灰岩与成矿期断裂的结合部位往往是矿体发育的良好空间,属于整个矿区富矿体集中分布区;成矿期断裂构造带与顺层缝合线互相交切沟通形成网状裂隙系统,往往也是富矿体发育的集中区(图8)。

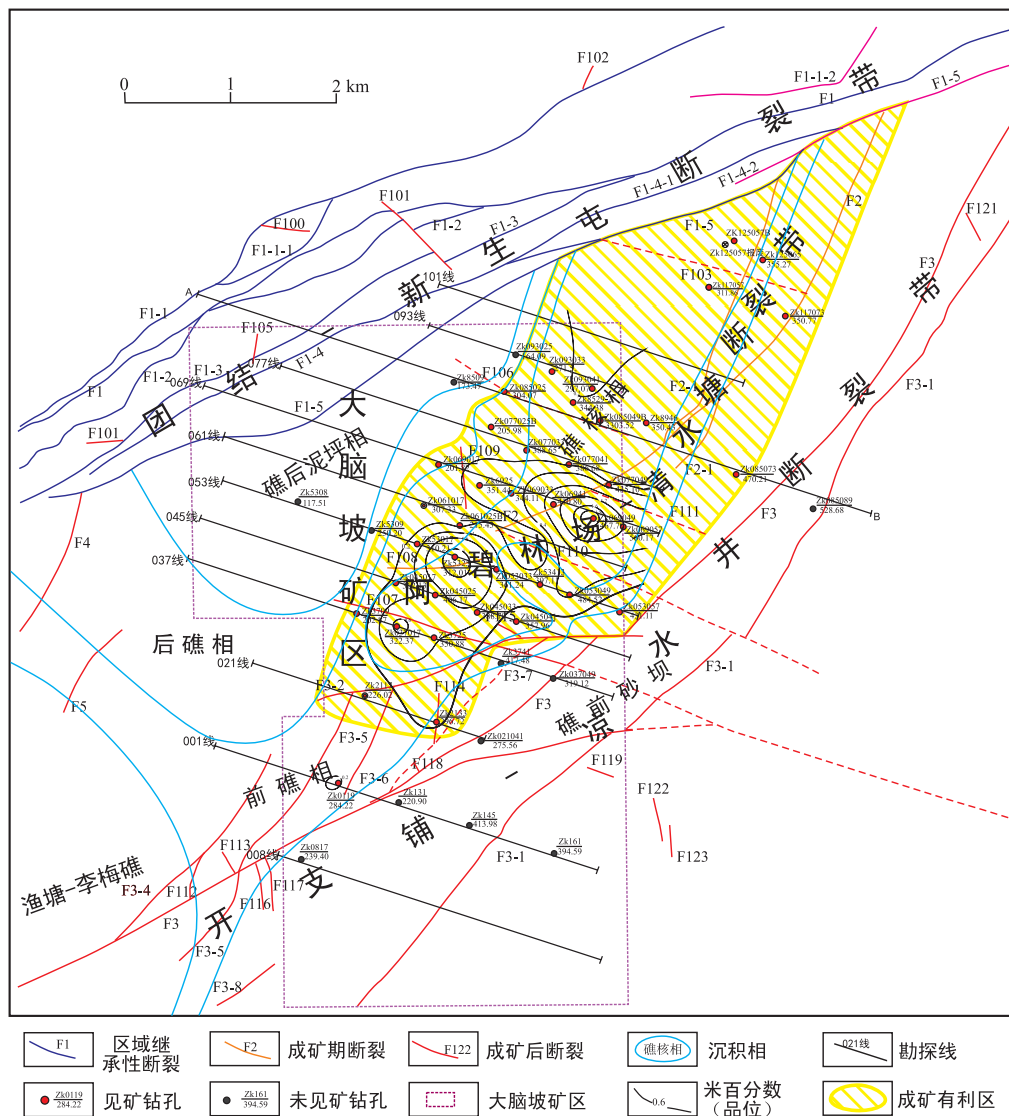


图8 大脑坡矿区断裂-沉积与成矿有利区分布图

Fig. 8 Relationship between fault-sedimentation and mineralization in Danaopo mining area

### 6.1 区域继承性断裂控制着矿田的分布

长期活动的花垣-张家界断裂起着十分重要的控相、控矿作用。花垣-张家界断裂地处扬子地块东

南缘的上扬子陆块与江南陆块2个二级大地构造单位的结合部位,控制着台地边缘浅滩-藻礁相的发育。在下寒武系统清虚洞组下段第三、四亚段沉积

时期,由于区域性的张应力,沉积水体相对稳定,藻灰岩大规模沉积,形成渔塘、巴茅寨、李梅、角弄-毛沟礁体等大型藻体沉积。另外,与花垣-张家界断裂共生、伴生的一系列次级断裂是花垣矿田成矿流体主要的运移通道,控制着矿田的空间分布。长期活动的区域性大断裂对花垣铅锌矿田的控矿意义还表现为对于成矿后对矿体的改造作用。在成矿作用后,深循环热卤水或热液继续迁移,在热卤水或热液经过前期的矿体时,将会对前期矿体进行改造、溶蚀,使得前期矿体遭受破坏。在 ZK8509 中,下寒武统清虚洞组下段第三段中可见约 10 m 的钻空带,其上下岩层均为藻灰岩,是良好的富矿岩层,该钻空带可能为前期的矿体遭受后期热液或者热卤水的破坏。除此之外,长期活动的区域性大断裂后期的活动对矿体分割、破坏,大脑坡矿区角弄-毛沟礁体与杨家寨的礁体沉积和结构特征表现出高度的一致性,属于同一个礁体母体,在花垣-张家界断裂后期的活动中将二者进行分割错位,形成了如今的分布格局。

## 6.2 成矿期断裂-礁体控制着高品位矿体富集

对成矿具有控制作用的断裂主要是成矿期断裂构造。成矿期断裂构造对成矿作用具体的控制主要表现在 2 个方面:其一是为成矿流体开辟了各级规模的运移补给通道,形成导矿通道;其二就是为矿质在容矿层中沉淀、富集创造了更为充裕的容矿空间,即成矿期断裂构造在矿田内起着导矿与容矿的双重作用。在礁核相发育的藻灰岩与成矿期断裂的结合部位往往是矿体发育的良好空间,属于整个矿区富矿体集中分布区。另外,区内断裂构造密集发育带、节理-裂隙-缝合线小构造分布普遍,特别是在藻礁相灰岩体内大量交织成网分布的节理、裂隙及缝合线构造系统为区内含矿热液的进一步扩散运移提供了理想的通道和成矿空间。

大脑坡矿区容矿空间主要有 3 类:藻孔、藻灰岩层间缝隙、断裂-节理系统。其中,藻孔、藻灰的岩层间缝隙主要发育于礁核相礁灰岩中,是区域范围内最主要的容矿空间,经矿化后易形成似层状、透镜状矿体,藻孔经矿化后形成斑状矿石或斑脉状矿石,藻孔的铅锌矿化集中在藻孔的边缘,(黄铁矿)闪锌矿(方铅矿)在热液方解石的周边形成环带或斑块、斑点。当成矿期断裂带(F2 等)断至礁核相后,含矿热液在容矿空间的突然释放,并与围岩发生交代充填

而成矿,形成高品位富集。后期勘探表明,在平面分布上,以礁核相和成矿期断裂带为中心,向两侧矿化强度明显变弱(图 8)。因此,礁核沉积与成矿期断裂的复合部位是良好的矿床定位空间,控制着富矿体的大小及规模。

大脑坡矿区主要的铅锌成矿方式是热液从深部沿成矿期断裂带进入浅层容矿空间中进行孔隙和裂隙系统交代充填成矿,断裂和节理不仅是矿液极为重要的运移通道,也是矿体富集成矿的重要场所。当含矿热液向浅部容矿地层运移过程中,随着温度、压力、pH 值、Eh 值以及硫含量等物化条件的变化,从而导致 Pb、Zn 等络合物解体而引起 Pb、Zn 等金属矿质的沉淀析出,从而形成铅锌矿(化)体。特别是在成矿期断裂构造带上,进一步密集发育节理和次级断裂的部位往往也是高品位矿体产出的集中区域。F2 断裂带与 F107-F108 断裂带交汇地带形成的相互交叉的雁行排列节理组是重要的导矿和容矿空间。交错分布的节理由线脉、斑脉和断线脉填充,当线脉和斑脉及断线脉复合时,因线脉本身矿化强而显著叠加了整体的矿化强度,成矿热液进入时,先经过阻力小、延伸远的成矿前一成矿期节理的裂隙,再进入到阻力更大的层间缝隙和藻孔中,成矿热液的温度也由高变低。在坑探工程的巷道中,线脉密集、斑脉、断线脉发育时矿化强烈,线脉稀疏时矿化较弱或出现无矿段。在成矿期节理及缝合线大量发育,并形成稠密网状裂隙系统的地段或部位往往有铅锌矿富集,并形成网脉状等重要矿石类型(李胜明,2016)。如 ZK5325 处于 F108 与 F2 的结合部位,在 2 个断层结合处由于应力释放形成了丰富的次级微断层及节理,其矿体综合丰度达 1.2 m 百分值(综合丰度是指达到工业品位段的米百分值之和),该钻孔见矿层位多达 9 层,而且局部品位 Pb+Zn 达到 6%~8%。因此,成矿前一成矿期断裂及节理密集程度也是决定矿化强度的重要因素之一。

## 7 结论

(1)将大脑坡矿区划分出 3 个主要断裂带,即花垣-张家界断裂带(F1 为主断层)、阿碧林场-清水塘断裂带(F2 为主断层)、开支铺-凉水井断裂带(F3 为主断层)。

(2)通过对断裂活动期次与成矿关系分析,将断

裂系统划分为3个类型,即区域继承性断裂、成矿期断裂及成矿后断裂。区域继承性断裂以花垣-张家界断裂为主;成矿期断裂主要为阿碧林场-清水塘断裂带的F<sub>2</sub>、F<sub>108</sub>及F<sub>2-1</sub>;成矿后断裂分布复杂,全区均有发育。

(3)区域性继承性大断裂(花垣-张家界断裂带)控制着整个矿田的延伸分布格局。礁核沉积与成矿期断裂的复合部位是良好的矿床定位空间,控制着富矿体的大小及规模;成矿期断裂构造带上进进一步密集发育节理和次级断裂的部位往往也是矿体产出的集中区域。

## 参考文献(References):

- 陈明辉, 胡祥昭, 鲍振襄, 等. 湖南渔塘铅锌矿集中区地质特征及成矿问题讨论[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 251-260.
- CHEN Minghui, HU Xiangzhao, BAO Zhenxiang, et al. Geological features and metallogenesis of the Yutang Pb-Zn ore concentration belt in Hunan Province[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 251-260.
- 董运如, 董化祥, 谢祥, 等. 甘肃西秦岭地区当庆沟脑金铜矿床地球化学异常特征及找矿前景[J]. 西北地质, 2019, 52(03):136-142.
- DONG Yunru, DONG Huaxiang, XIE Xiang, et al. Geochemical Anomalies and Prospecting Prospect Analysis of the Dangqinggounao Gold-Tungsten deposit in Gansu [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(03):136-142.
- 段其发. 湘西-鄂西地区震旦系-寒武系层控铅锌矿成矿规律研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- DUAN Qifa. The research of the metallogenic regularity of stratabound zinc-lead deposits from Sinian-Cambrian in the western Hunan and western Hubei[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.
- 付胜云, 张丰, 曾健康, 等. 湘西-黔东南下寒武统清虚洞组藻灰岩沉积特征及其找矿意义[J]. 中国地质调查, 2018, 5(3): 56-65.
- FU Shengyun, ZHANG Feng, ZENG Jiankang, et al. Sedimentary characteristics and prospecting significance of algal limestone in Qingxudong Formation of Lower Cambrian in Western Hunan- Eastern Guizhou[J]. Geological Survey of China, 2018, 5(3): 56-65.
- 高伟利, 吕古贤, 肖克炎, 等. 湘西李梅铅锌矿区矿床地质特征与控矿要素[J]. 地质学刊, 2014, 38(3): 374-379.
- GAO Weili, LV Guxian, XIAO Keyan, et al. On geological features and ore control factors in Limei Pb-Zn deposit in western Hunan[J]. Journal of Geology, 2014, 38(3): 374-379.
- 贾振远, 李之琪. 碳酸盐岩沉积相和沉积环境[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1989:45-61.
- JIA Zhenyuan, LI Zhiqi. Carbonate sedimentary facies and sedimentary environment [M]. Wuhan: Published by Wuhan Institute of Geology, 1989: 45-61.
- 匡文龙, 杨绍祥, 余沛然, 等. 湘西北花垣县下寒武统清虚洞组浊积岩沉积特征及其地质意义[J]. 地质科学, 2008, 43(2): 347-358.
- KUANG Wenlong, YANG Shaoxiang, YU Peiran, et al. Sedimentary characteristics and geological significance of turbidites in the Lower Cambrian Qingxudong Formation at Huayuan county, northwestern Hunan[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(2): 347-358.
- 雷义均, 戴平云, 段其发, 等. 鄂西-湘西北地区铅锌矿源层对铅锌矿床产出定位的制约[J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33(1):1-6.
- LEI Yijun, DAI Pingyun, DUAN Qifa, et al. Constraints of Lead-Zinc Source Bed to Lead-Zinc Deposits in Western Hubei to Northwestern Hunan[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2013, 33(1):1-6.
- 李荣清, 童潜明, 张建新. 郴临深大断裂带及其两侧矿床的物质组分特征[J]. 华南地质与矿产, 2000(3):25-33.
- LI Rongqing, TONG Qianming, ZHANG Jianxin. The composition of metallogenic materials of ore deposits across the Chenzhou-Linwu deep-seated fault[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2000(3): 25-33.
- 李胜明. 湘西北花垣铅锌矿田沉积-构造控矿机理[D]. 成都:成都理工大学, 2016.
- LI Shengming. Sedimentary structure in Northwest Huayuan lead-zinc deposit in Hunan metallogenic mechanism and metallogenic prediction[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.
- 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地质前缘, 2001, 8(4):231-243.
- LIU Congqiang, HUANG Zhilong, LI Heping, et al. The geofluid in the mantle and its role in ore-forming processes[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4):231-243.
- 刘文均, 卢家烂. 湘西下寒武统有机地化特征: MVT 铅锌矿床有机成矿作用研究(Ⅲ)[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 290-296.
- LIU Wenjun, LU Jialan. Characteristics of Organic Geochemistry of Lower Cambrian in Western Hunan—Organic-mineralization study on MVT Lead-Zinc ore deposits[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2):

- 290-296.
- 吕宝凤,杨永强,李丽. 柴达木盆地断裂体系划分及其成盆动力学意义[J]. 西北地质, 2010, 43(04):143-151.
- LÜ Baofeng, YANG Yongqiang, LI li. Dividing of Fault System and Its Implication for Formation Dynamics in Qaidam Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43 (04):143-151.
- 毛党龙. 湖南花垣县大脑坡铅锌矿地质特征及成因[J]. 现代矿业, 2016,562(2): 90-97.
- MAO Danglong. Geological Characteristics and Genesis of the Danaopo Pb-Zn Deposit in Huayuan County, Hunan Province[J]. *Modern Mining*, 2016,562(2): 90-97.
- 任爱君,毛党龙,陈伦杰. 湖南花垣地区礁灰岩型铅锌矿成矿特征及找矿方向[J]. 国土资源导刊, 2017, 14(01): 82-88.
- REN Aijun, MAO Danglong, CHEN Lunjie. Metallogenic Characters and Prospecting Orientation of the Reef Limestone Hosted Pb-Zn Deposit in HuaYuan district of Hunan[J]. *Land & Resources Herald*, 2017, 14(01): 82-88.
- 汤朝阳,邓峰,李堃,等. 湘西黔东南地区寒武系清虚洞组地层特征与铅锌成矿关系[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 1035-1041.
- TANG Chaoyang, DENG feng, Li Kun, et al. Stratigraphic characteristics of the Qingxudong Formation of the Cambrian and the relationship Pb-Zn mineralization in western Hunan - eastern Guizhou[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4):1035-1041.
- 汤朝阳,邓峰,李堃,等. 湘西-黔东南地区寒武系都匀阶清虚洞期岩相古地理与铅锌成矿关系研究[J]. 地质与勘探, 2013, 49(1):19-27.
- TANG Chaoyang, DENG Feng, LI Kun, et al. Lithofacies palaeogeography of the Qingxudong epoch, Duyun stage, Cambrian Period and its relationship to lead-zinc deposits in western Hunan and eastern Guizhou Provinces[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49 (1) : 19 - 27.
- 魏含涛,邵拥军,熊伊曲,等. 湘西花垣铅锌矿田成矿模式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(9): 2402-2413.
- WEI Hantao, SHAO Yongjun, XIONG Yiqu, et al. Metallogenic model of Huayuan Pb-Zn ore field in the western Hunan Province, South China[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2017, 48 (9) : 2402-2413.
- 蔺志永. 湘西-鄂西地区低品位-大吨位铅锌矿评价[D]. 北京: 中国地质科学院, 2010.
- LIN Zhiyong. Assessment of Lead-Zinc in Western Hunan-western Hubei area, China[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2010.
- 杨绍祥,劳可通. 湘西北铅锌矿床的地质特征及找矿标志[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 899-908.
- YANG Shaoxiang, LAO Ketong. Geological characteristics and ore indicators of lead- zinc deposits in northwestern Hunan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(7) : 899- 908.
- 薛长军, 吕古贤, 高伟利, 等. 湘西花垣李梅矿田含矿层清虚洞期岩相古地理分析及成矿预测[J]. 地学前缘, 2017,24(2): 159-175.
- XUE Changjun, LV Guxian, GAO Weili, et al. Lithofacies paleogeographic analysis of ore-bearing layers in Qingxudong period and metallogenic prediction in Limei ore field in Huayuan, western Hunan, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24 (2) : 159-175.
- 杨阳,李瑞雪,高伟利,等. 湘西花垣-茶洞断裂的活动期次与运动特征[J]. 地质学刊, 2000,40(4):631-639.
- YANG yang, LI Ruixue, GAO Weili, et al. Characteristics of active phase and motion of the Huayuan-Chadong fault zone in western Hunan Province[J]. *Journal of Geology*, 2000,40(4):631-639.
- 曾建康,樊昂君,许旭光,等. 湖南省花垣县大脑坡矿区铅锌矿普查报告[R]. 吉首: 湖南省地质矿产局四〇五队, 2014.
- 张志斌,李朝阳,涂光炽,等. 川、滇、黔接壤地区铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 2006,30(3): 343-354.
- ZHANG Zhibin, LI Chaoyang, TU Guangzhi, et al. Geotectonic evolution background and ore-forming process of Pb-Zn deposits in Chuan-Dian-Qain area of southwest China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2006,30(3): 343-354.
- 郑荣才,曾允孚. 湘西渔塘早寒武世生物礁沉积相特征[J]. 沉积学报, 1988, 6(2): 61-68.
- ZHENG Rongcai, ZENG Yunfu. Sedimentary characteristics of early Cambrian Yutang organic reefs in western Hunan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1988, 6 (2) : 61-68.
- 周云,段其发,彭三国,等. 湘西花垣地区铅锌成矿规律及矿床成因探讨[J]. 矿物学报, 2011, 24(S1): 234-235.
- ZHOU Yun, DUAN Qifa, PENG Sanguo, et al. Discussion on Metallogenic Regularity of Lead and Zinc in Huayuan Area of Western Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 24(S1): 234-235.