

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.03.08

引用格式: 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.

# 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

付胜云<sup>1</sup>,张丰<sup>2</sup>,曾健康<sup>3</sup>,龙国华<sup>3</sup>,邓蕾<sup>1</sup>,程怡宁<sup>2</sup>,李大江<sup>1</sup>

(1.湖南省地质调查院,长沙 410116; 2.湘西自治州国土资源局,吉首 416007;

3.湖南省地质矿产勘查开发局405队,吉首 416007)

**摘要:** 铅锌矿是湘西—黔东南地区的优势矿种,资源丰富,开发历史悠久,找矿潜力巨大。综合分析前人有关湘西—黔东南生物礁的资料,介绍了藻灰岩的沉积特征,并结合大量实际地质资料,对藻灰岩控矿进行了论述。结果表明:成矿物质主要来源于藻类及碳酸盐泥对 $Pb^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 离子的吸取,矿床成因属于沉积成岩矿床类型,兼有成岩期后矿床性质;藻礁灰岩与不同岩性的接合部位及其附近等微地球化学障区,往往就是铅锌富矿体产出部位;藻礁灰岩与礁间通道的薄层泥质白云质灰岩呈指状交叉接触处,也常有铅锌富矿体产出;铅锌富矿体基本上产于清虚洞组灰岩段中,且明显受该段藻礁灰岩控制。为满足国内外对铅锌矿日益增长的消费需要,深入研究区内铅锌矿的地层岩相岩石控矿因素及其富集规律,指导该地区藻灰岩中铅锌矿找矿工作,具有重要的现实意义。

**关键词:** 清虚洞组;藻灰岩;铅锌矿;湘西—黔东南

**中图分类号:** P534.41; P588.24

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2018)03-0056-10

## 0 引言

我国西南地区从震旦纪到三叠纪,广泛发育碳酸盐岩地层,其中唯有中泥盆世、二叠纪、中晚三叠世由于不同门类造礁生物的繁茂,才成为主要造礁时期<sup>[1]</sup>。近年来,生物礁的经济价值引起地质界的普遍重视,生物礁也成了积极寻找和探索的对象。对于生物礁的研究,多从几何形态、分布规律、礁组合的岩石特征、礁生物地理群落、出露的构造部位等方面论述。生物礁横向的不连续实为相变,生物礁的发现对认识古地理格局和油气勘探具有重要的参考价值。湘西—黔东南成矿带位于我国西南部,该区生物礁的研究尚浅,湘西生物礁是一种新的类型,不同之处为藻礁相,时代位于早寒武世,与区内

铅锌矿关系密切。本文通过分析湘西—黔东南地区清虚洞组藻礁灰岩沉积特征,探讨该地区铅锌矿的找矿意义,以为该地区寻找“礁灰岩型”铅锌矿床提供参考。

## 1 区域地质背景

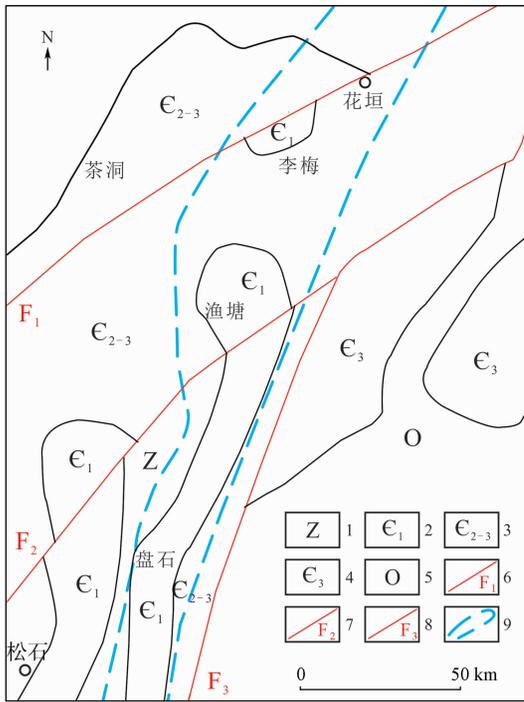
湘西—黔东南地区位于扬子陆块与南华活动带的过渡区,在大地构造位置上跨越上扬子地块和江南地块(北西缘)2个二级大地构造单元<sup>[2]</sup>。湘黔断裂带至清虚洞期大致沿玉屏—铜仁—花垣—保靖一线(图1中 $F_3$ ),其北西为浅水台地相,其南东为台地边缘斜坡相和深水相区<sup>[3]</sup>。出露的地层主要有下寒武统把榔组、清虚洞组,中寒武统高台组,中—上寒武统娄山关群(图1)。

收稿日期: 2016-08-14; 修订日期: 2017-10-19。

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务(矿产地质志)(编号: DD20160346)”和湖南省国土资源厅“湖南省凤凰—花垣—龙山地区铅锌锰矿整装勘查(编号: 201003014)”、“《湖南省矿产地质志》编制(编号: 20180306)”项目联合资助。

第一作者简介: 付胜云(1965—),男,高级工程师,主要从事矿产勘查、1:5万矿产地质调查及中国矿产地质志研编等工作。

Email: 741212046@qq.com。



1. 震旦系; 2. 下寒武统; 3. 中—上寒武统; 4. 上寒武统; 5. 奥陶系;  
6. 花垣—保靖断裂; 7. 松桃—鱼塘断裂; 8. 玉屏—铜仁—保靖断  
裂; 9. 藻丘—滩相界线

图1 湘黔交界区地质图<sup>[2]</sup>

Fig.1 Geological map of Hunan - Guizhou border area<sup>[2]</sup>

湘西铅锌矿带主要受下寒武统清虚洞组的台地边缘浅滩相控制,矿床(点)主要分布于黔东卜口场—湘西花垣之间长百余公里、宽约10 km的狭长地带内,呈NNE向展布。其中自南往北有多个发育程度不同的藻礁分布。铅锌成矿区赋存于下寒武统清虚洞组厚大的碳酸盐岩中,矿化带延伸与藻礁浅滩相带一致,矿体具多层性,呈缓倾斜以整合层带状产出,矿石以锌为主铅锌共生,具有一定的分带现象。成矿物质主要来源于藻类及碳酸盐泥对 $Pb^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 离子的吸取,矿床成因以低温热液充填型为主体。区内分布众多的铅锌或汞锌地球化学异常带与清虚洞组分布及其矿床集中区相吻合。有利成矿的岩相带、构造带与铅锌矿带三位一体的布局,是矿床的主要特征之一。

## 2 清虚洞组岩性特征

研究区清虚洞组岩相分区属扬子区的八面山小区,岩相古地理类型为台地边缘浅滩—藻礁相<sup>[4-5]</sup>,控矿的岩相序列为碳酸盐陆棚总体向上变浅序列中的藻礁—浅滩—潮坪岩相序列。以湘西

花垣县渔塘矿田北部之李梅矿区为例,岩层由老至新分为:

(1) 灰岩段第一亚段( $E_1q^{1-1}$ )。薄层含泥质泥晶灰岩与极薄层含陆屑泥晶云岩互层,厚度55~78 m。

(2) 灰岩段第二亚段( $E_1q^{1-2}$ )。中上部泥晶粉屑—细砂屑灰岩,顶部粗砂屑—砾屑灰岩,下部泥晶灰岩、含粉屑泥晶灰岩,厚度52~70 m。

(3) 灰岩段第三亚段( $E_1q^{1-3}$ )。藻(礁)灰岩,常夹有代表礁间沉积的白云质泥晶灰岩、砂屑灰岩、滑塌角砾岩及崩落岩块等,为铅锌主要容矿层位,厚度70~200 m。

(4) 灰岩段第四亚段( $E_1q^{1-4}$ )。亮晶砂屑灰岩、砂砾屑灰岩、鲕粒灰岩、鲕粒核形石灰岩等,为铅锌次要含矿层位,厚度35~55 m。

(5) 云岩段第一亚段( $E_1q^{2-1}$ )。层纹石云岩,有时见层纹石灰岩,厚度24~58 m。

(6) 云岩段第二亚段( $E_1q^{2-2}$ )。纹层状云岩,底部含陆源细碎屑,厚度65~75 m。

区内清虚洞组在层序上总体表现为一套向上变浅的海退旋回沉积序列,初始为深水碳酸盐陆棚,经浅滩化后发育为滩,最后由滩发展为潮坪。演化至中期阶段,由于海平面有所上升,沉积环境随之发生改变,导致在垂向上出现了浅滩—藻礁—浅滩—潮坪交替沉积的现象。

第一小旋回以清虚洞组早期沉积第一段和第二段为代表。本区西部为沉积砂屑和鲕粒为主的开阔海浅滩,中部沉积了浅水陆棚近源浊积条带状灰岩,东部沉积了深水陆棚远源浊积韵律灰岩,海水深度在风暴浪底以上有风暴岩形成。

第二小旋回以清虚洞组中期沉积第三段和第四段为代表。滩前砂坝已经形成,藻类竞争生长,礁间通道(泄水沟槽)调节海水盐度和含氧量为藻类传送营养,形成巨大藻礁体;中晚期藻礁因生长过快失去障壁保护,海水能量增高,盆内碎屑如砂砾屑、藻屑、鲕粒等增多。

第三小旋回以清虚洞组晚期沉积第五段和第六段为代表。潮坪沉积层序由下向上为含细砂屑白云岩—含粉屑层纹石—层纹石白云岩—纹层状粉晶白云岩。

湘西铅锌矿带中铅锌矿体赋存于清虚洞组第三段、第四段地层中,矿床位于热液活动活跃的湘黔深断裂带边缘<sup>[6]</sup>。矿体主要呈层状、似层状且具

多层性,局部可切层,少数呈脉状、透镜状、囊状、巢状。其产出受岩石的原生孔隙和容矿层层内构造等多因素控制。容矿层不是矿源层,本区铅锌矿不存在同生沉积特征。铅同位素年龄晚于赋矿地层年龄<sup>[7]</sup>。矿体受次级背斜及容矿层层内裂隙系统控制,规模较大的富矿体一般顺层分布并具有较为明显的方向性<sup>[8]</sup>。

### 3 清虚洞组藻类划分、藻礁演化及沉积相

#### 3.1 藻类划分

湘西下寒武统清虚洞组钙藻前人已作过描述<sup>[9-10]</sup>。作者在前人基础上系统鉴定出研究区内组成生物丘的19个属种钙藻,这些藻类形态群的划分详见表1、2和图2。

表1 李梅矿区清虚洞组藻类的群类及亚群类划分  
Tab.1 Classification of congregartion and sub-congregartion of algae species in Qingxudong Formation of Limei mine area

群类	亚群类	包含的属种
葡萄状或粒状		颗粒肾形藻、凝胶肾形藻、似古节球肾形藻、瘤状肾形藻、古节球藻未定种
树枝状	树枝状	串状表附藻、羽毛状表附藻
	簇球状	多云表附藻
	纤细短小状	细小表附藻
管状	扇状	上射小波托曼藻、西伯利亚波托曼藻、西伯利亚比贾藻
	孤立分散状	稀有原喇叭孔藻、光滑原喇叭孔藻
	束状	波托米藻
	缠绕团块状、串珠状	葛万藻、尼科尔森藻
	网架状、细藤蔓状	凯内拉藻、博蒂尼维藻
毡毯 纤毛状		拉祖莫夫斯基藻

表2 李梅矿区清虚洞组藻类的群带划分

Tab.2 Classification of colony of algae species in Qingxudong Formation of Limei Mine Area

群带	群类	亚群类	包含的属种	环境
第四群带	管状	网架状、细藤蔓状、孤立分散状	凯内拉藻未定种、博蒂尼维藻、光滑原喇叭孔藻、稀有原喇叭孔藻	相对较高能
第三群带	葡萄状或粒状、树枝状、管状	树枝状、簇球状、扇状、缠绕团块状、串珠状	羽状表附藻、凝胶肾形藻、串状表附藻、似古节球肾形藻、多云表附藻、瘤状肾形藻、上射小波托曼藻、西伯利亚比贾藻、葛万藻未定种、西伯利亚波托曼藻、尼科尔森藻未定种	低能—相对较高能
第二群带	树枝状、管状	扇状、簇球状、纤细短小状、串珠状	上射小波托曼藻、西伯利亚波托曼藻、多云表附藻、西伯利亚比贾藻、细小表附藻、尼科尔森藻未定种	低能
第一群带	管状、毡毯纤毛状	网架状、细藤蔓状	拉祖莫夫斯基藻、博蒂尼维藻	低能

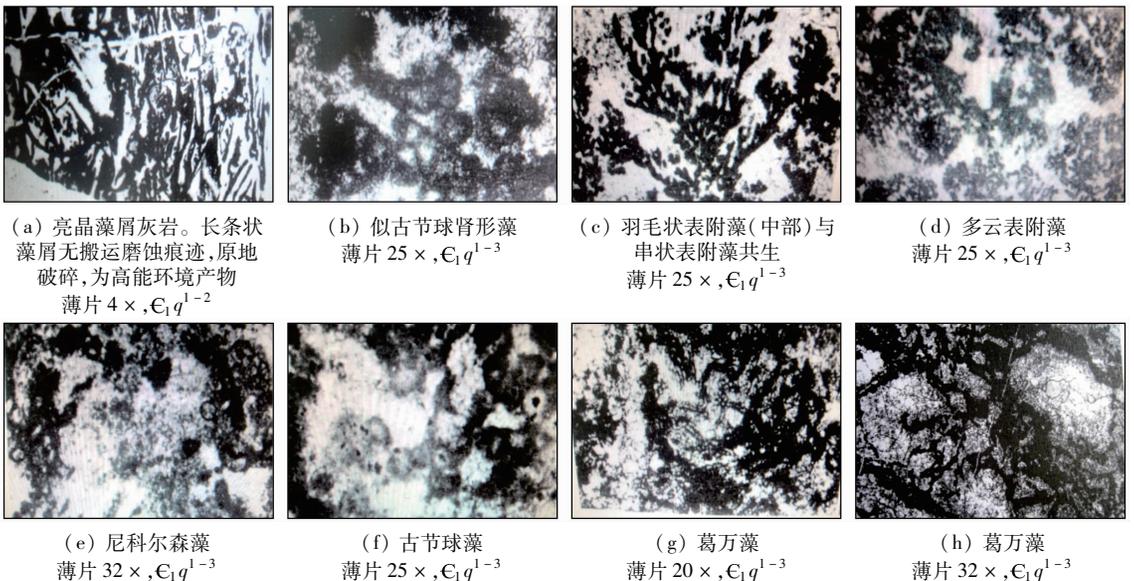


图2 湘西花垣铅锌矿田藻灰岩中常见藻类  
Fig.2 Common algae in algal limestone in Huaheng Pb-Zn orefield, Western Hunan

### 3.2 藻礁演化

藻礁体为沉积厚度较周围沉积物大的碳酸盐岩地质体。矿田中的藻礁体在整体上为椭圆形的丘状体。藻灰岩( $C_1q^{1-3}$ )厚度反映出礁体内部有数个突出的峰顶,而并非仅一单峰的隆起。这说明一个大的藻礁是由多个次一级的藻礁体联合组成,即先出现成群的小礁体,后逐渐发育增大,最后联结起来组成大礁体。所以小礁体间就会出现地势相对低凹的礁间洼地,洼地内藻灰岩较薄,故成为藻礁内藻灰岩厚度不均的原因之一。

礁体内部有礁间通道分隔,礁间通道调节着礁体内部海水的含盐度,使之始终保持正常状态而不致咸化,并不断向礁体内的藻类生物补给所需养分。

礁体前缘通常有礁前砂坝作为屏障,保护着藻类得以正常生长,免遭风浪袭击;而礁后又有相对较深水的洼地(潟湖)带,该洼地带因受藻礁遮挡而环境较闭塞,海水相对咸化,形成潟湖环境。

藻礁内的藻类具有较明显的能量分带性。藻群带反映出能量相对较高的部位是礁体上部,其次是礁体发育至晚期时,在礁体前缘及礁间通道入口处一带。对环境适应能力最强的藻类为藤蔓状匍匐生长的属种,故它们的数量较其他属种多,分布亦最广泛。

藻类在浅水且低能环境下生长、发育。藻类不具抗浪能力,藻礁前不存在典型生物礁(抗浪的)所特有的礁前塌积角砾岩。因此,本区的藻生物礁实质上是一种藻生物丘类型的“礁”。

藻礁在总体上具有东(向海方)厚西薄的特点,以李梅矿区为例,按施工钻孔统计,矿区东面角弄坪一带,藻灰岩厚度一般都在140 m以上,个别孔达220 m,而西面的耐子堡一带,通常只有100~120 m,说明向海一方的环境更适合藻类生长。

综合藻类在剖面(图3)上的特征,总结出本区藻礁的演化,大致经历了以下几阶段。

#### 3.2.1 礁基形成阶段

早清虚洞期,研究区已由原先的较深水缓坡经浅滩化作用发育为初始的浅滩,水能量随海水变浅而增大,浅滩砂被风暴潮流、海流等各种水流带到滩前缘堆积,形成了高出于前缘滩面的水下障壁沉积(如沙坝、水咀等),从而在障壁的后方产生了一个被保护的低能环境,藻礁的礁基正是在此环境中孕育并逐步发展成熟的。

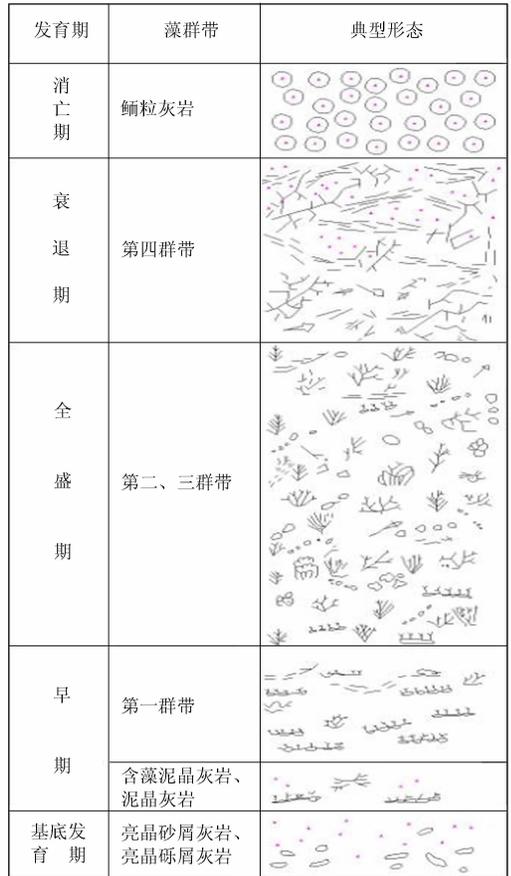


图3 藻礁演化剖面图

Fig. 3 Evolution profile of algal reef

沉积微相研究表明,营造藻礁的藻类都是附着生长在由灰泥组成的底质之上,而非直接定殖生长在移动的浅滩砂粒之上,反映出礁基为稳定的灰泥质软基底而非欠稳定的砂质基底。剖面上,礁基沉积由早到晚的沉积顺序为浅滩砂砾质沉积→灰泥沉积→灰泥和零星的藻类沉积。从沉积顺序可以看出,礁基虽然是建立在浅滩上,但并不意味着它是在高能环境下形成。相反,它的形成需要安静的低能环境,然而,只有在浅滩前缘出现了障壁系统之后,这种低能环境才有可能产生。

#### 3.2.2 藻礁早期发育阶段

礁基形成后,藻类就在其上生长、发育。初期只有少数属种,数量也不多,如礁体下部的含藻泥晶灰岩内所见,藻类多为分枝开放纤细型及缠绕团块状型,以细小表附藻和葛万藻为代表,它们在岩石中的含量不足10%,分布零散。稍后,随着第一群带藻类的出现,数量急剧增多,在岩石中通常都达到40%以上,说明当时的生态环境已十分适合于藻类的大量繁殖。

### 3.2.3 藻礁发育的高峰阶段

该阶段是造礁钙藻生长的全盛时期,以藻的属种数目最多、繁衍增殖数量最大为特征,几乎囊括了在藻礁内所见到的全部属种,尤其以第二、第三群带所包含的属种最发育。藻的单体通常较大,分枝较粗壮,在岩石中的含量往往都在50%以上(按在岩石薄片中所占的面积统计),有时达到70%或更高。藻类的大量繁殖和空前发育,是藻礁在演化进入了最高峰阶段的重要标志。

### 3.2.4 藻礁的衰退阶段

当藻类生长的有利条件发生变化,藻礁的发育就会衰退,主要表现为:①沉积的藻灰岩中颗粒成分增多,有时还含少量陆源碎屑;②藻类属种数目大为减少,以第四群带为代表;③藻类在岩石中的含量下降;④藻类的叶状体增粗,由全盛期的细管状、丝状体变为较粗的管状及似实心的厚壁管状体;⑤生长习性的变化,全盛期主要为向上伸展生长的树枝状、扇状,在该阶段则变为近水平匍伏生长的藤蔓状或网架状。这些现象表明,部分藻类由于尚能适应当时的水能量逐渐加强的环境而获得生存,另一部分因无法适应而被淘汰。由于大量藻类死亡,就必然导致了藻礁的衰退。

### 3.2.5 藻礁的消亡阶段

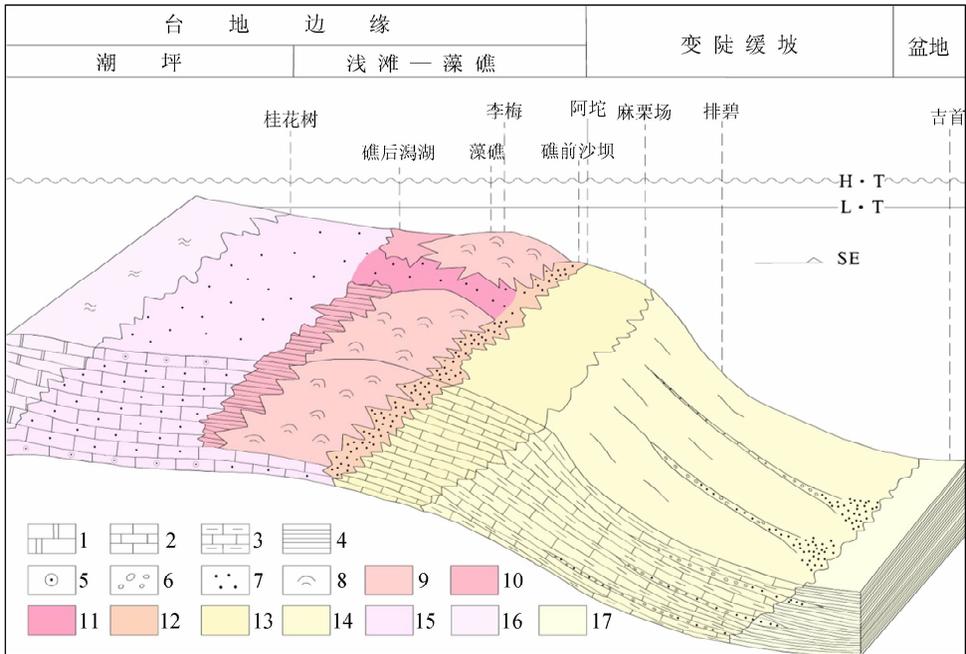
由于浅滩的全面推进,藻类生态环境进一步恶化,最后终于完全失去了其生存的条件和环境,因此,它们的生命活动就终止了,藻礁的演化便发展到了消亡阶段。该阶段高频率的风暴事件对藻礁的消亡起着较为重要的促进作用。

## 3.3 沉积相

湘黔边境清虚洞组沉积相主要分3个相,7个亚相,藻礁营建发育于清虚洞中期,即第二个小旋回的沉积时期。沉积相自下而上为:

(1)盆地边缘相。分为薄层泥晶灰岩亚相(厚度50~270 m)和斑纹状泥晶团粒灰岩亚相(厚度0~120 m)。

(2)台地边缘浅滩相。以藻礁为中心在横向上有3个次级的沉积亚相分布,自北西往南东按礁后潟湖→藻礁→礁前砂坝有规律地排布(图4)。藻礁、礁后,礁前各亚相在平面上沿NNE—NE向展布。礁后潟湖以西为滩和潮坪,礁前砂坝以东为变陡的缓坡,再往东则为盆地。藻礁、礁间通道和礁后潟湖主要为低能环境,礁前砂坝为中—高能环境。在区域上藻礁呈点礁分布,不等距地散布于浅滩的前缘地带,但通常发育在有障壁保护的沉积高



1. 层纹石白云岩; 2. 泥晶灰岩; 3. 含泥质灰岩; 4. 页岩; 5. 鲕粒; 6. 砾屑; 7. 砂屑; 8. 藻礁; 9. 台地边缘浅滩相藻礁亚相; 10. 台地边缘浅滩相礁后潟湖亚相; 11. 台地边缘浅滩相礁间通道亚相; 12. 台地边缘浅滩相礁前砂坝亚相; 13. 盆地边缘相斑纹状泥晶团粒灰岩亚相; 14. 盆地边缘相薄层泥晶灰岩亚相; 15. 台地边缘浅滩相上鲕粒核形石碎屑灰岩亚相; 16. 台地相含陆屑层纹石白云岩亚相; 17. 盆地相

图4 藻礁相模式及古地理环境示意图

Fig. 4 Sketch of paleogeographic environment and algal reef facies

地上,即:台地边缘浅滩相下鲕粒核形石碎屑灰岩亚相,厚度0~50 m;台地边缘浅滩相藻灰岩亚相,厚度0~180 m;台地边缘浅滩相上鲕粒核形石碎屑灰岩亚相,厚度5~150 m。

(3)台地相。分2亚相:台地相含陆屑层纹石云岩亚相,厚度50~80 m;台地相层纹石云岩亚相,厚度50~220 m。

其中,与成矿关系最密切的亚相为台地边缘浅滩相藻灰岩亚相,主要特征为:该亚相与上下亚相渐变过渡;岩石主要由原地生长的表附藻(灌木藻)灰岩、葛万藻灰岩、混合藻灰岩、海绵状藻团粒灰岩及原地堆积的粉砂—砾石级藻屑灰岩组成;岩石绝大多数不具层理,化学成分极纯。

## 4 成矿背景及控矿因素

### 4.1 成矿构造背景

大庸—古丈—吉首深大断裂带为岩石圈断裂带,是武陵地块与雪峰地块的重要分界断裂,台地边缘礁滩相带的分布受制于断裂的成生演化。该断裂带的花垣—张家界段,其活动历史包含了隆起带很多的演化信息,经历了挤压、伸展、走滑多期复合的演化历程,北西段的活动强度相对较强,中生代以来变形以浅部的脆性为主,并伴随了多次低温热液活动;包裹体测温显示均一温度的众数值主要集中在120~150℃,180~200℃和270~330℃ 3个阶段;断裂带的石英脉 ESR 定年表明,其中生代以来剧烈活动时间处于燕山中一晚阶段(86~131.8 Ma);根据石英脉的野外产状和流体包裹体温度特征,结合前人资料认为雪峰山隆起带中生代从挤压向伸展的转换时间应在131.3~120 Ma之间,至110 Ma左右伸展作用趋于强烈<sup>[11]</sup>。

湘西渔塘式层控型铅锌矿床、黔东万山式汞矿床等矿区采取的石英包裹体成分分析表明,其成矿溶液的性质具有类似密西西比型(MVT)矿床成矿溶液的高盐度、高密度、低成矿温度的深部循环热卤水特点<sup>[12]</sup>。

花垣铅锌矿床,是产于下寒武统清虚洞组上部藻礁灰岩中的大型MVT矿床。矿床的矿石矿物中普遍有流体包裹体存在,其中有子矿物发现。采用SEM和EDX对它们进行研究后,在4种主矿物中发现有7种子矿物(闪锌矿、石膏、方解石、重晶石、

石盐、黄铁矿和沥青)。硫酸盐类矿物在包裹体中的发现,证明成矿流体中, $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量较高,而且可能是与金属离子共同迁移<sup>[13]</sup>。

大断裂对成矿的直接作用是:同沉积的深大断裂为铅锌、汞矿富集的形成提供了极为有利的成矿物质供给条件,形成初始矿源层,同时断裂活动为区域成矿作用提供含矿流体运移通道,次级断裂、节理、裂隙和褶皱同时也提供了铅锌矿良好的容矿场所<sup>[14]</sup>。

### 4.2 藻礁及藻灰岩控矿

研究区地层铅锌元素的丰度不均匀,新元古界青白口系一下古生界寒武系牛蹄塘组明显偏高,这套沉积岩系为湘黔铅锌矿带的形成提供了成矿物质。成矿物质主要来源于藻类及碳酸盐泥对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 离子的吸取。稳定同位素资料表明,本区铅具有以幔源为主、壳幔混合的特点,硫源主要来自碳酸盐岩系的硫酸盐,矿床属于沉积成岩矿床<sup>[8]</sup>,兼有成岩期后矿床的性质。铅锌成矿作用见表3。

表3 湘西藻礁灰岩的铅锌成矿作用  
Tab.3 Pb-Zn mineralization of algal reef limestone in Western Hunan

铅锌成矿作用	花垣县渔塘寨李梅式碳酸盐型铅锌矿
沉积作用 (同生作用)	大量的铅锌成矿物质由于藻类及藻腐而成的有机质吸附,在渔塘同生下沉向斜聚积,或礁前、礁后沉积相的圈闭作用下堆积在藻礁内,形成初始矿源层
后生作用	在藻类及灰泥质压实成岩过程中,形成少量、分散的小球粒状方铅矿和闪锌矿
叠加作用	构造压溶热卤水的循环和渗滤使矿化富集
断裂	断裂较发育,产生构造热源并成为热卤水的循环和渗滤通道
褶皱	一级褶皱构造控制矿田位置,二、三级褶皱的轴部及其附近的虚脱部位为矿体赋存空间

由于表附藻和尼科尔森藻等微生物大量繁盛,构成了粗的丛生分枝结构,使交叉枝体搭成格架间发育孔隙,充填了片状向心生长的微晶方解石丘体。在沉积—早期成岩阶段,一方面藻类及其他微生物在生命活动中对Pb、Zn等元素依赖,以其为“食”且能够大量吸收,从而使生物体自身成为Pb、Zn的富集体,同时这类格架灰岩、障积灰岩及鲕粒灰岩,还有藻团粒、藻砂屑等也能促使Pb、Zn的沉淀;另一方面微生物死亡形成的腐殖酸具有表面积大、黏度高及吸附能力强的特点,对主要以Pb、

Zn 络合物形式存在的金属离子有很强的结合能力。此外有机质的分解造成还原环境,使硫酸盐还原而提供硫质来源,从而形成 Pb、Zn 硫化物的初始富集。在后生阶段,同生断裂的复活使盆地内热流系统的对流加强,在其活动过程中热液就地(或就近)取材,溶解、活化、萃取及迁移至有利于贮存的构造中富集成矿。因此,清虚洞组中的铅锌矿是复杂的微生物活动和热水沉积等多因素的结果<sup>[3]</sup>。

藻礁是各矿床(点)的重要控矿岩系,主要由质纯、性脆并具有高孔隙度的藻灰岩组成,藻礁灰岩的孔隙度居全区岩石之首,具备十分理想的容矿空间。岩石主要由原地生长的表附藻(灌木藻)灰岩、葛万藻灰岩、混合藻灰岩、海绵状藻团粒灰岩及原地堆积的粉砂—砾石级藻屑灰岩组成;岩石绝大多数不具层理,化学成分极纯。李梅矿区藻灰岩取样 14 件,化学成分平均含量 CaO 为 55.11%, MgO 为 0.83%, C 为 0.15%, S 为 0.024%, K<sub>2</sub>O 为 0.015%, Na<sub>2</sub>O 为 0.039%, CO<sub>2</sub> 为 43.60%, SrO 为 0.023%, MnO 为 0.01%, SiO<sub>2</sub> 为 0.15%。藻灰岩岩石类型多,其储层孔隙空间以各种次生孔隙为主,包括各种孔隙、洞穴和裂缝<sup>[15]</sup>。当藻灰岩位于一系列 NNE 向的褶皱构造轴部、背斜与向斜构造的交接部位、深大断裂之间或其附近时,由于应力相对集中,往往形成层间虚脱,岩石破碎,小断层及节理裂隙发育,从而为成矿物质的运移和富集提供了通道和沉淀场所,并产生硅化与碳酸盐化等蚀变现象,形成了区域内众多的铅锌矿(化)点。其产出受岩石的原生孔隙和容矿层层内构造等多因素控制。容矿层不是矿源层,本区铅锌矿不存在同生沉积特征。铅同位素年龄晚于赋矿地层年龄<sup>[16]</sup>。矿质主要来源于碳酸盐建造以下的一大套碎屑岩建造,部分来自深部和造山带。区内分布的众多铅锌或汞锌地球化学异常带与清虚洞组地层分布及其矿床集中区相吻合。

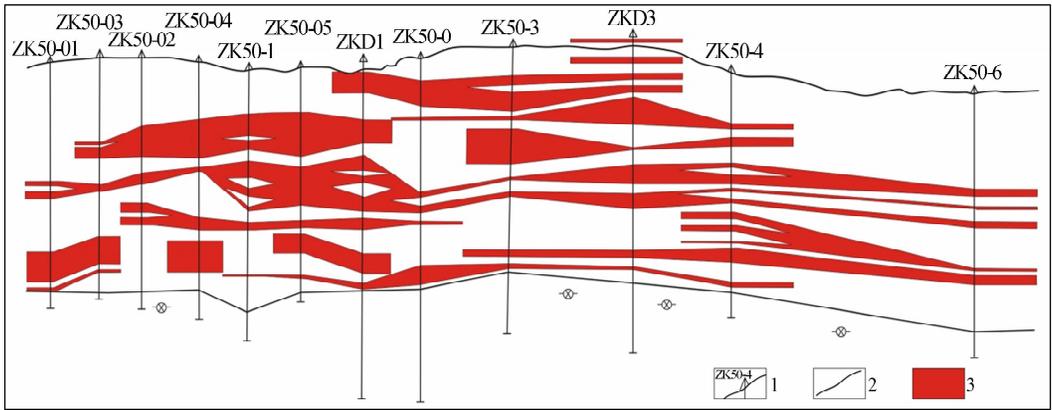
花垣、凤凰矿田中已发现的铅锌矿体均与方解石化、白云石化、黄铁矿化、重晶石化中的一种或数种相伴出现,相互之间关系十分密切。矿床无围岩蚀变则无铅锌矿化,矿化富集程度与多类型围岩蚀变强度及层内构造空间发育程度呈正相关关系,蚀变标志是找矿的直接标志。花垣铅锌矿田藻灰岩

内围岩蚀变发育,主要有方解石化、白云石化、黄铁矿化、重晶石化、沥青化和褪色化,其中以前三者与成矿关系较为密切,在容矿层中普遍分布,黄铁矿化、重晶石化发育的地方往往是铅锌相对富矿体产出部位。矿田内一般高角度的方解石—白云石—块状硫化物粗脉或细脉可见脉两侧岩石有 1~2 cm 的灰白色带铁质渲染的热液褪色蚀变,其他蚀变罕见;硫化物、白色脉状方解石、白色脉状白云石与矿石中灰岩界面均很清晰,无可见明显蚀变。沥青化和萤石化也是重要的找矿标志之一,强的沥青化和萤石化与矿化的关系密切,其发育地段往往就是铅锌矿体集中的地段。

据花垣县下寒武统清虚洞组铅锌矿床采集的 21 件矿石样品的铅同位素模式年龄分析,其中 3 件 133~260 Ma, 13 件 300~463 Ma, 4 件 491~519 Ma, 1 件 684 Ma(大于赋矿地层年代)<sup>[17]</sup>,显示成矿时代主要在 4 亿 a 左右(华力西运动),也有 5 亿 a 左右的同沉积成矿和更晚时代的后期改造成矿。

铅锌矿与古油藏空间分布关系密切,二者存在“共生”和“上油下矿”2 种关系。下寒武统清虚洞组既是铅锌矿的富矿层位,也是古油藏的储集层之一,二者在溶蚀孔洞或构造裂隙中密切共生,在湘西花垣地区尤为普遍;而在黔东地区古油藏储集层除下寒武统清虚洞组外,在其上的下奥陶统红花园组灰岩和下志留统碎屑岩也是重要的储集层,在清虚洞组藻类白云岩中铅锌矿和古油藏固体沥青共生,而在下奥陶统灰岩和志留系碎屑岩中少见铅锌矿分布。古油藏中的油田卤水可能萃取了地层中的 Pb、Zn 成矿物质,并成为成矿物质迁移的载体。Pb、Zn 成矿物质的沉淀可能与加里东期破坏的古油藏有关<sup>[18]</sup>。

铅锌矿体受各矿区次级背斜内容矿层(生物礁)的层内构造和裂隙系统控制。赋矿层矿化普遍,具有多层性,矿区按含矿层上下关系主要分 7 层(图 5),矿化强度不均匀,以下部和中上部为主。矿体呈层状、似层状、顺层分布的透镜状和顺层分布的囊状。矿石构造为与浅色脉石密切相关的浸染状、斑块状、脉状—细脉状、致密块状构造,浅色脉石矿物主要为方解石、石英以及白云石、重晶石等,后生特征明显,低温热液型成矿特征显著。



1. 钻探工程及编号; 2. 地层分界线; 3. 矿体

图5 李梅矿区耐子堡矿段铅锌矿勘探线剖面图

Fig. 5 Prospecting line profile of Pb - Zn ore in Naizibao allotment of Limei Mine Area

综上所述,蚀变作用与矿化作用相伴,在生物礁内呈多层次状分布,层状矿体为本类型矿床最重要的铅锌矿体。

控矿层位中,孔隙度大、渗透性好的岩性段上覆孔隙度小、渗透性差的岩性段配置成良好的“储”、“盖”岩性组合,是铅锌矿形成和富集的重要控矿条件,亦为藻礁体内形成多层铅锌矿矿层的原因。区内成矿最有利的“储”、“盖”岩性组合主要有2种<sup>[6]</sup>:藻礁灰岩-微晶白云岩组合和藻礁灰岩-泥晶白云质灰岩组合。容矿围岩岩性多为灰岩、生物屑灰岩、白云质灰岩及白云岩。

藻礁灰岩与不同岩性的接合部位及其附近等微地球化学障区,往往就是铅锌富矿体产出部位<sup>[19]</sup>;藻礁灰岩与礁间通道的薄层泥质白云质灰岩呈指状交叉接触处,也常有铅锌富矿体产出。在礁间通道沉积中,通常有结构粗细很不均匀的岩层互迭,铅锌富矿体则产于粗结构、高孔隙度的滑塌角砾岩中,而细结构的岩石则起“岩性屏”作用。在接近礁后部分,成岩期豹皮状云化了的藻礁灰岩是对成矿不利的岩石,查明其分布对确定富矿远景区的边界很有帮助。

铅锌富矿体基本上产于清虚洞组灰岩段中,且明显(约90%以上)受该段藻礁灰岩控制;富矿体的产出与藻礁灰岩的厚度、岩石分布范围、所处层序位置等条件有一定关系,如李梅矿区富矿体集中的地段藻礁灰岩的厚度一般大于100 m。

#### 4.3 清虚洞组沉积序列控矿

湘西下寒武统层控型铅锌矿控矿的岩相古地理类型为台地边缘浅滩—藻礁相。控矿的沉积序

列为碳酸盐陆棚总体向上变浅序列中的藻礁—浅滩—潮坪。

区内早寒武世铅锌成矿是在盆地演化过程中,岩石充填系列的某些特定部位控制了铅锌矿的垂向分布,其实质就是具备矿源层-容矿层-屏蔽层组合条件,为铅锌矿床的形成提供类似形成石油矿床的“生、储、盖”配套条件,其中牛蹄塘组和石牌组为区内的矿源层,清虚洞组为容矿层,而高台组为屏蔽层<sup>[13]</sup>。

清虚洞组浊流沉积之下的陆棚相泥质条带灰岩为低能、缺氧环境,水平状、微波状的葛万藻和蓝细菌可能参与沉积矿化富集<sup>[20]</sup>,但基本组成生物黏结灰岩,其致密的结构而缺乏较厚的孔缝,因而未形成明显矿化;之后,表附藻和尼科尔森藻<sup>[9]</sup>等微生物大量繁盛,因具粗的丛生分枝结构,交叉枝体搭成格架间孔隙,充填片状向心生长的亮晶方解石而形成微生物碳酸盐岩礁(丘),这类格架灰岩、障积灰岩及鲕粒灰岩,还有藻团粒、藻砂屑等一方面促使Pb、Zn的沉淀<sup>[21]</sup>,而微生物死亡形成的有机质的吸附作用,也使Pb、Zn以离子吸附的方式,或以类质同象的形式堆积在文石(方解石)晶间和晶格中,此外有机质的分解,造成还原环境,使硫酸盐还原而提供硫质来源,从而形成Pb、Zn硫化物的初始富集;与此同时,同生断裂的复活,使盆地内流体系统对流加强,在热流体系统的活动过程中,一方面萃取牛蹄塘组矿源层,使热液中成矿元素不断地富集,当运移至赋矿层位由于物理化学条件的突然改变而成矿就位形成初始层控矿床,又成为后生阶段热液就地(或就近)取材溶解、活化萃取迁移

至有利于贮存的构造中再富集成矿的矿源层<sup>[7]</sup>。可见,各种藻类生物形态不同,形成的生物灰岩类型也不同,对金属元素产生着不同的反应,在金属成矿的过程中起到的作用也不同。

微生物群落的衰亡表明经历了一次大的沉积间断,其后风暴事件产生的砾(粒)屑灰岩层之上基本未发现矿化,可作为含矿层的顶板;该层之上清虚洞组上段岩性为泥晶灰岩浅埋藏交代形成的白云岩,高台组为薄层泥质白云岩与粉砂质泥岩互层,岩石特性决定了它们为盖层。

因此,微生物碳酸盐岩礁(丘)体相明显受浊流沉积控制和风暴沉积等事件沉积层的影响,铅锌成矿是复杂的微生物活动和热水沉积等多因素的结果。浊流层-微生物礁(丘)体(或鲕粒灰岩层)-风暴层组合可作为找矿标志。

## 5 结论

(1)湘西—黔东南下寒武统层控型铅锌矿在地质建造上与生物碎屑灰岩及藻礁灰岩、内碎屑(砂屑)灰岩是伴生关系。这些岩石质纯、性脆,岩石孔隙度大,当它们位于一系列 NNE 向的褶皱构造轴部、背斜与向斜构造的交接部位、深大断裂之间或其附近时,由于应力相对集中,往往形成层间虚脱,岩石破碎,小断层及节理裂隙发育,从而为成矿物质的运移和富集提供了通道和沉淀场所,并产生硅化与碳酸盐化等蚀变现象,形成了区域内众多的铅锌矿(化)点。

(2)湘西—黔东南下寒武统层控型铅锌矿空间上与藻礁灰岩也是伴生关系。清虚洞组由下至上反映出海水逐渐由深变浅的深水陆棚浅滩化序列,由陆棚相、微生物碳酸盐岩礁(丘)-台地边缘浅滩相和局限台地相组成;微生物碳酸盐岩礁(丘)体是缓坡沉积环境下十分重要的含矿沉积体。铅锌矿(化)均位于台地边缘斜坡相空间中,并且为层控型矿床。

(3)研究区是具有能解决矿产勘查后备选区紧缺问题、保持矿产资源可持续供给能力、促进矿业可持续发展特征的地区,该地区铅锌矿仍具有大型资源潜力。找矿应主要沿藻礁浅滩相外延地带进行,结合构造-地球化学分析,以探查隐伏矿床为主。

## 参考文献:

- [1] 罗新民,李学杰. 湘南生物礁的发现及意义[J]. 中国地质, 1991, 18(7): 26-28.
- [2] 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.
- [3] 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): 1034-1041.
- [4] 罗卫,尹展,孔令,等. 花垣李梅铅锌矿集区地质特征及矿床成因探讨[J]. 地质调查与研究, 2009, 32(3): 194-202.
- [5] 劳可通,庄汝礼,龙国华,等. 湖南省花垣渔塘矿田铅锌富矿成矿规律及其预测[R]. 湖南省地矿局四〇五队, 1989.
- [6] 付胜云,彭志刚,刘红梅. 湘西北铅锌矿带成矿地质特征[J]. 国土资源导刊, 2006, 3(3): 99-103.
- [7] 彭国忠. 湖南花垣渔塘地区层控型铅锌矿床成因初探[J]. 地质科学, 1986(2): 179-186.
- [8] 夏新阶,舒见闻. 李梅锌矿床地质特征及其成因[J]. 大地构造与成矿学, 1995, 19(3): 197-204.
- [9] 王剑,庄汝礼,劳可通,等. 湘西花垣地区下寒武统清虚洞组生物丘钙藻形态群与环境群带的划分及意义[J]. 岩相古地理, 1990(3): 9-19.
- [10] 孙玉娟,林文球,周振冬. 湖南花垣早寒武世清虚洞期的藻化石、沉积环境与成矿的关系[J]. 成都地质学院学报, 1985, 12(1): 52-60, 111-112.
- [11] 谢建磊,杨坤光,马昌前,等. 湘西花垣—张家界断裂带构造变形特征与 ESR 定年[J]. 高校地质学报, 2006, 12(1): 14-21.
- [12] 王育民,朱家鳌,余琼华. 湖南铅锌矿地质[M]. 北京:地质出版社, 1988: 1-419.
- [13] 刘文均,郑荣才,李元林,等. 花垣铅锌矿床流体包体中的子矿物[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(4): 65-69.
- [14] 张晓阳,邹光均. 湘西北大庸—古丈—吉首大断裂的新认识[J]. 中国地质调查, 2015, 2(1): 1-8.
- [15] 党海龙,徐国祯,杨西娟,等. 裂缝性藻灰岩储层识别技术研究[J]. 测井技术, 2007, 31(6): 588-591.
- [16] 汤朝阳,邓峰,李堃,等. 湘西—黔东南地区早寒武世沉积序列及铅锌成矿制约[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 111-117.
- [17] 曾健康,樊昂军. 湖南花垣县大脑坡矿区铅锌矿普查地质报告[R]. 湖南省地矿局四〇五队, 2015.
- [18] 刘劲松,邹先武,汤朝阳,等. 湘西黔东南地区铅锌矿床与古油藏关系初探[J]. 华南地质与矿产, 2012, 28(3): 220-225.
- [19] 付胜云. 湘西铅锌富矿成矿规律探讨[J]. 有色金属: 矿山部分, 2011, 63(6): 27-35.
- [20] 周琦. 松桃嗅脑铅锌矿田藻丘微相特征及控矿规律探讨[J]. 贵州地质, 1995, 12(4): 311-316.
- [21] 侯奎,陈延成. 四川秀山下寒武统清虚洞组的骨骼藻万藻藻鲕及岩石学意义[J]. 岩石学报, 1990, 6(4): 85-93.

## Sedimentary characteristics and prospecting significance of algal limestone in Qingxudong Formation of Lower Cambrian in Western Hunan – Eastern Guizhou

FU Shengyun<sup>1</sup>, ZHANG Feng<sup>2</sup>, ZENG Jiankang<sup>3</sup>, LONG Guohua<sup>3</sup>, DENG Lei<sup>1</sup>, CHENG Yining<sup>2</sup>, LI Dajiang<sup>1</sup>

(1. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, China; 2. Land and Resources Bureau of

Xiangxi Autonomous Prefecture, Jishou 416007, China; 3. 405 Team of Bureau of Geology and

Mineral Exploration and Development of Hunan Province, Jishou 416007, China)

**Abstract:** Pb – Zn ore has been listed as a favorable mineral in Western Hunan and Eastern Guizhou, with large reserve, long development history and huge potential. Through comprehensively analyzing the previous bioherm data of Western Hunan and Eastern Guizhou, the authors introduced the sedimentary characteristics of algal limestone, and discussed the ore-controlling mechanism of algal limestone based on a series of geological data. The results show that the ore-forming materials are mainly derived from the absorption of  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  ions by algae and carbonate mud. The genesis of the deposit belongs to sedimentary deposit type, which has the characteristics of the post diagenetic stage. The junctions between algal reef limestone and different lithology and the nearby micro geochemical barrier zone are often rich in Pb – Zn ore body. The cross shape area at the point of contact between algal reef limestone and thin argillaceous dolomitic limestone in reef channel, is often rich in Pb – Zn ore body too. Pb – Zn rich bonanza mainly occurs in Qingxudong Formation limestone and is obviously controlled by the algal reef limestone. To meet the increasing needs of Pb – Zn ore at home and abroad, a further study of the controlling factors and enrichment law of stratigraphic lithofacies has important practical significance in guiding ore prospecting in this region.

**Key words:** Qingxudong Formation; algal limestone; Pb – Zn ore; Western Hunan – Eastern Guizhou

(责任编辑: 刘永权)