

湘西—黔东地区寒武系清虚洞组地层特征与铅锌成矿关系

汤朝阳¹ 邓 峰² 李 堃¹ 段其发¹ 邹先武¹ 戴平云¹

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430223;

2. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院, 河南 郑州 450007)

摘要:湘西—黔东地区寒武系发育完整, 是一套从黑色岩系到碳酸盐岩的沉积序列。下寒武统清虚洞组由灰岩段和白云岩段组成, 纵向上构成总体向上海水变浅的沉积相序列, 同时反映了缓坡型碳酸盐岩台地的发育过程。该组空间上从北西至南东可识别出潮坪相、局限台地相粉细晶云岩、台地边缘浅滩相粉细晶灰岩和台地边缘(滩)丘相微晶灰岩、浅—深缓坡相、陆棚相泥灰岩、台地前缘盆地等沉积。研究表明, 地层岩性、岩相古地理对铅锌矿具有明显的控制作用, 微晶丘是主要容矿层, 与微生物和海底热水关系密切。铅锌成矿明显与浊流沉积和风暴沉积等事件沉积相关, 浊积岩、微晶丘、砾(粒)屑灰岩构成一完整的铅锌控矿序列。

关键词:铅锌成矿; 沉积序列; 寒武系; 湘西—黔东地区

中图分类号: P618.42~43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)04-1034-08

湘西及黔东地区寒武系发育较完整, 自下而上由牛蹄塘组陆棚—盆地相黑色炭质页岩和灰泥岩沉积; 石牌组(或明心寺组和金顶山组)陆棚相细碎屑岩沉积; 清虚洞组下段广海台地相薄层灰泥岩、微生物碳酸盐岩^[1]和台地边缘浅滩相粉细晶灰岩及清虚洞组上段—娄山关组局限台地—混积潮坪相白云岩沉积组成。该序列代表了一个震旦纪与寒武纪过渡时期大规模的淹没事件之后的碳酸盐岩台地的生长和演化过程, 其中下寒武统清虚洞组因其独特的岩石组合序列, 成为铅锌矿的主要容矿层, 并在区域上形成了独具特色的湘西—黔东铅锌成矿带(图 1)。典型代表如湘西花垣渔塘、黔东松桃盘石铅锌矿。本文以“上扬子铅锌矿床与岩相古地理关系研究”、“湘西—鄂西地区铅锌多金属矿勘查选区研究”、“贵州松桃—湖南禾库地区 1:5 万矿产调查评价”、“贵州铜仁—湖南新晃地区 1:5 万矿产调查评价”等

相关项目为基础, 分析和研究了清虚洞组岩石地层特征(尤其是事件层)及与铅锌成矿的关系。认为在台地演化过程中, 清虚洞组中浊流沉积、微晶丘和鲕粒灰岩沉积(含矿层)、砾(粒)屑灰岩层等与铅锌成矿密切相关。

1 构造背景

湘西及黔东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^[2]。在震旦纪—志留纪时期, 扬子板块东南缘盆地演化经历了从典型的大西洋型被动大陆边缘到前陆盆地的一个完整构造旋回^[3], 以大规模持续的沉降—沉积作用及火山作用的消失为特征。区内存在一条震旦纪—古生代地层、岩相、建造、古生物化石、构造类型、岩浆岩系列和含矿专属性的明显变异界线——“湘黔

收稿日期: 2012-02-01; 改回日期: 2012-05-25

基金项目: 中国地质调查局项目“上扬子铅锌矿床与岩相古地理关系研究”(1212011121100)和“上扬子地块及其周缘铅锌多金属矿综合评价”(1212010813068)及“湘西—鄂西地区铅锌多金属矿勘查选区研究”(1212010632005)资助。

作者简介: 汤朝阳, 男, 1969 年生, 研究员, 主要从事矿床与地层学研究; E-mail: achun168168@yahoo.com.cn。

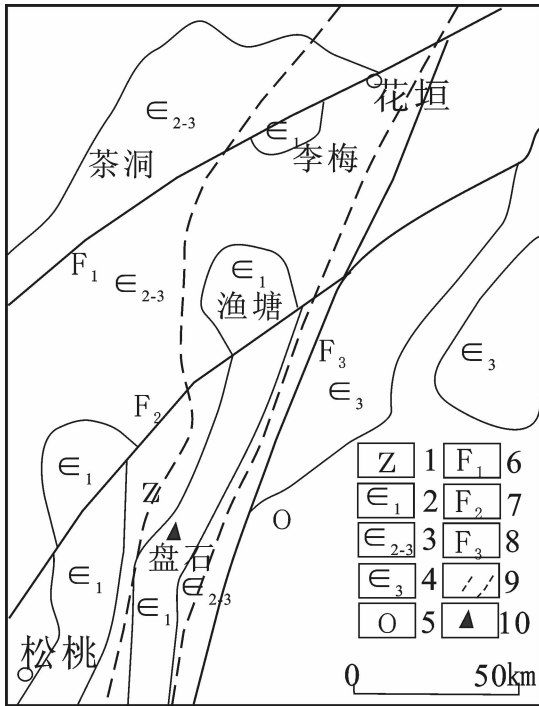


图 1 湘黔交界区地质图

- 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—保靖—花垣断裂; 7—松桃—渔塘断裂;
 - 8—玉屏—铜仁—保靖断裂; 9—藻丘—滩相界线; 10—剖面位置
- Fig.1 Geological map of the Hunan-Guizhou border area
- 1- Sinian; 2- Lower Cambrian; 3- Middle-Upper Cambrian;
 - 4- Upper Cambrian; 5- Ordovician; 6- Baojing-Huayuan fault;
 - 7- Songtao-Yutang fault; 8- Yuping-Tongren-Baojing fault;
 - 9- Boundary of micrite mound and bank facies; 10- Section location

断裂带”^[4-5],其活动具多期性且向南东方向迁移。至清虚洞期大致沿玉屏—铜仁—花垣—保靖一线(图 1 中 F₃),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。正是在该古断裂带控制下,造成基底活动程度不同,从而导致上覆岩层的一系列差异。

2 清虚洞组沉积特征

2.1 剖面描述

本文所选实测寒武系清虚洞组剖面位于湘西—黔东铅锌成矿带中部的贵州松桃盘石(图 1),剖面露头较好。清虚洞组与下伏石牌组 and 上覆高台组皆为连续沉积,呈整合接触。在相同层位中,其北有著名的花垣铅锌矿田,南有铜仁卜口场等铅锌矿床,因而在区域范围内具代表性。

剖面特征描述如下(岩石化学分析见表 1):

高台组(Є_{3g})

- 44 浅灰色中—厚层状泥质云岩、纹层状粉晶云岩。0.05 m
- 43 浅灰—灰色纹层状泥粉晶云岩, 单层厚 10~50 cm。3.75 m

—————整合接触—————

清虚洞组上段(Є_{1q²})

- 42 深灰色中层状细晶云岩,单层厚 20~50 cm,夹淡灰紫色中层砂屑粉晶云岩,风化后呈砂糖状,岩石中可见少量的方解石团块。20.01 m
- 41 灰色中层状鲕粒、豆粒云岩,夹一层深灰色中层状似纹层状云岩(方解石压溶呈线状)。7.56 m
- 40 浅灰色中层状亮晶鲕粒云岩,单层厚 20~50 cm,浅灰色中晶云岩夹一层砾屑云岩,砾屑粒径 2~5 mm,呈次圆状,为白云质成分,岩石中溶孔较为发育,沿裂隙面可见硅化和铁染现象。26.46 m
- 39 灰色中—薄层细晶云岩,单层厚 10~30 cm。6.99 m
- 38 深灰色中—厚层状含砾屑粉晶灰岩, 单层厚 40~90 cm,砾屑呈团块状,粒径一般在 0.5~1 cm,最大可达 3 cm,砾屑呈次圆状;岩石中方解石脉较为发育,岩石表面发育刀砍纹。向上岩石颜色变浅,岩层变薄。9.94 m
- 37 浅灰色中—厚层细晶云岩, 岩石表面刀砍纹发育,溶孔较为发育,张剪性方解石脉体极为发育,粉晶云岩中夹多层深灰色厚层砾屑灰岩,砾屑粒径在 0.5 cm 左右,次圆状,砾屑大致顺层面分布。15.69 m

—————整合接触—————

清虚洞组下段(Є_{1q¹})

- 36 灰色厚层灰质粉—细晶云岩。6.25 m
- 35 深灰色与浅灰色厚层状细—中晶灰岩, 单层厚 50~150 cm, 浅灰色灰岩中发育张剪性方解石脉体, 脉宽 0.5~2 cm。13.94 m
- 34 浅灰色—灰白色厚层砾屑灰岩,砾屑粒径为 2~5 mm,砾屑呈次圆形,顺层分布,向上为深灰色砾屑灰岩,岩层中发育张剪性方解石脉,方解石脉呈网状分布。8.65 m
- 33 深灰色厚层藻屑粉晶灰岩夹浅灰色粉晶灰岩、藻屑粉晶灰岩。3.84 m
- 32 灰色厚层状藻球粒粉晶灰岩。55.14 m
- 31 深灰色—灰色中厚层含砂屑粉晶灰岩,方解石细脉较为发育。29.25 m
- 30 灰色中—厚层状亮晶含砂屑团块灰岩,单层厚 40~70 cm,岩层表面发育白色方解石团块。3.67 m
- 29 灰色中层状亮晶豆粒灰岩,单层厚 40~50 cm。0.11 m
- 28 灰色中层状含生物屑藻球粒不等晶灰岩,单层厚 40~50 cm,砾屑沿层理发育,靠近 44 m 处为砂屑灰岩。0.59 m
- 27 深灰色中—厚层状含砂屑不等晶灰岩,可见方解石细脉发育,层面见白云石化斑块,灰岩由下向上颜色变浅。9.56 m
- 26 灰色中层状微细晶晶灰岩,可见方解石团块。4.23 m
- 25 灰色厚层内碎屑不等晶灰岩,单层厚 50~90 cm,岩石

表 1 贵州松桃粑粑寨剖面寒武系清虚洞组微量元素含量

Table 1 Trace elements content of the Cambrian Qingxudong Formation in Babazai, Songtao, Guizhou

送样号	分析号	Cu/10 ⁻⁶	Pb/10 ⁻⁶	Zn/10 ⁻⁶	Ni/10 ⁻⁶	Cd/10 ⁻⁶	Mo/10 ⁻⁶
PMH07-H2	A100920127	29.6	9.60	34.0	6.32	0.035	0.20
PMH07-H3	A100920128	9.96	23.1	23.3	7.73	0.070	0.22
PMH07-H4	A100920129	8.07	9.66	15.6	5.69	0.12	0.18
PMH07-H5	A100920130	6.58	7.12	18.4	4.42	0.092	0.18
PMH07-H6	A100920131	34.2	11.3	75.9	12.2	0.088	0.36
PMH07-H7	A100920132	27.1	107	31.4	3.95	0.057	0.22
PMH07-H8	A100920133	16.6	33.1	30.9	3.26	0.070	0.19
PMH07-H9	A100920134	4.94	7.18	11.4	3.15	0.049	0.21
PMH07-H10	A100920135	5.31	16.7	364	3.76	4.28	0.60
PMH07-H11	A100920136	5.73	381	2650	3.94	16.9	0.54
PMH07-H12	A100920137	10.3	5760	57100	4.40	285	0.57
PMH07-H13	A100920138	5.96	43.8	5070	3.94	31.7	0.53
PMH07-H14	A100920139	6.89	142	15000	3.93	98.2	0.59
PMH07-H15	A100920140	5.40	1050	3130	3.96	35.4	0.24
PMH07-H16	A100920141	5.92	17.2	15100	3.31	88.8	0.25
PMH07-H17	A100920142	7.85	40.6	21400	3.34	87.7	0.15
PMH07-H18	A100920143	4.03	1.88	68.7	3.14	0.61	0.12
PMH07-H19	A100920144	5.93	<1	2020	3.18	15.4	0.14
PMH07-H20	A100920145	4.62	<1	37.8	3.25	0.58	0.16
PMH07-H21	A100920146	9.06	51.8	30500	3.54	131	0.20
PMH07-H22	A100920147	5.95	54.0	95.3	3.22	1.54	0.17
PMH07-H23	A100920148	5.25	34.3	44.2	3.41	1.43	0.14
PMH07-H24	A100920149	83.8	8920	2860	4.78	6.24	15.4
PMH07-H26	A100920150	4.77	39.4	61.0	3.47	1.94	0.20
PMH07-H27	A100920151	5.20	39.0	51.2	3.07	1.80	0.20
PMH07-H28	A100920152	4.18	20.7	29.2	3.67	0.39	0.14
PMH07-H29	A100920153	6.42	35.0	97.3	4.26	0.32	0.30
PMH07-H30	A100920154	4.37	24.8	36.1	2.91	0.31	0.17
PMH07-H31	A100920155	11.2	19500	47100	3.26	224	0.16
PMH07-H32	A100920156	5.26	46.8	885	3.37	4.36	0.14
PMH07-H33	A100920157	7.01	9.35	1290	3.66	8.52	0.18
PMH07-H34	A100920158	5.84	1070	110	3.43	1.23	0.24
PMH07-H35	A100920159	8.77	47.9	77.9	4.76	0.25	0.20
PMH07-H36	A100920160	6.02	44.5	74.6	3.74	0.36	0.23
PMH07-H37	A100920161	6.22	76.7	103	3.56	1.38	0.21
PMH07-H38	A100920162	5.15	79.9	69.0	3.43	1.00	0.21
PMH07-H39	A100920163	4.96	32.2	41.1	3.52	0.29	0.25
PMH07-H40	A100920164	4.43	58.1	120	3.41	0.75	0.46
PMH07-H41	A100920165	10.7	28.2	38.2	3.74	0.98	0.26
PMH07-H42	A100920166	5.09	66.2	39.9	3.37	0.53	0.35

注:样品由国土资源部中南矿产资源监督检测中心分析。

中含大量砂屑和砾屑,砾屑粒径可达 9 mm,呈椭圆形。9.56 m

24 灰色厚层亮晶含鲕粒内碎屑灰岩,单层厚 60~120 cm,见闪锌矿化,脉状微细粒闪锌矿沿方解石脉分布,呈集合体,颜色为墨绿色。14.1 m

23 浅灰色厚层粉晶团块藻球粒粉细晶灰岩,单层厚 100~130 cm,含少量方解石团块,大小在 0.8~1.5 cm。16.72 m

22 细晶灰岩,单层厚 80~150 cm。风化色为深灰色-灰黑色。14.59 m

21 浅灰色厚层粉细晶灰岩,单层厚 70~140 cm,岩石中含大量方解石团块及细脉,风化后凸出岩石表面,闪锌矿呈浸染状分布方解石团块周围,闪锌矿呈淡黄绿色,金刚光泽,粒径在 1 mm 左右。7.37 m

20 深灰色厚层藻球粒粉细晶灰岩,单层厚 50~90 cm,风化面呈深灰色。1.7 m

19 浅灰色厚层含团块藻球粒粉细晶灰岩,含方解石细晶及团块,具重结晶,风化面粗糙不平,方解石团块凸出岩石表面,单层厚 60~90 cm。2.12 m

18 深灰色厚层粉细晶藻球粒灰岩,单层厚 60~90 cm,岩石中含灰黑色藻屑,敲击岩石散发臭鸡蛋气味,风化色为深灰色-灰黑色。8.28 m

17 浅灰色厚层状含闪锌矿粉细晶灰岩,单层厚 50~80 cm,岩石表面可见少量溶孔。9.36 m

16 方解石闪锌矿矿石,藻球粒灰岩。单层厚 50~120 cm,重结晶作用强,闪锌矿沿方解石周缘发育,节理:260°∠76°。5.03 m

15 藻球粒微晶灰岩,单层厚 50~120 cm,闪锌矿主要呈浸染状分布于方解石周围,岩石风化后呈灰黑色,表面溶孔十分发育。19.1 m

14 含闪锌矿(方解石化)藻球粒微晶灰岩,闪锌矿以黄绿色为主,少量为褐色,可见少量黄铁矿共生,闪锌矿以 3 种形式赋存,1).白色粗晶方解石团块周围,呈黄绿色,半自形,金刚光泽,粒 0.3~0.8 cm,含量与方解石含量呈正比;2).赋存于缝合线构造中,呈褐色,粒径在 1 mm 左右,此外,可见铅灰色的自形方铅矿共生,粒径可达 3 mm;3).呈脉状层理分布,黄绿色,金刚光泽,粒径小于 1 mm,围岩为灰色厚层灰岩,单层厚 50~130 cm,溶孔发育,岩石中方解石重结晶作用明显,最大可达 8 cm,矿层厚 4.3 m,品位 3%左右。发育 3 组节理:275°∠70°,225°∠45°;55°∠85°。3.23 m

13 灰色厚层含闪锌矿细粉晶灰岩,单层厚 50~120 cm,闪锌矿主要呈浸染状分布于方解石周围,岩石风化后呈灰黑色,表面溶孔十分发育。5.29 m

12 方解石闪锌矿矿石,闪锌矿以黄绿色为主,少量为褐色,可见少量黄铁矿共生,品位 3%左右。2.25 m

11 灰色厚层含闪锌矿细粉晶灰岩,单层厚 50~80 cm,岩石中可见黄绿色的闪锌矿,金刚光泽,颗粒大小在 0.5~1 mm,呈浸染状分布,矿化层厚 2.5 m。1.28 m

10 灰色厚层微细晶灰岩,单层厚 50~130 cm,风化后为灰

黄色,呈棘皮状,方解石重结晶作用明显,呈浅肉红色,方解石细脉发育,一组脉体不平整,结晶粗大,可达 3.5 cm,另一组脉体平整,结晶粒度小于 1 mm。4.17 m

9 浅灰色块状微细晶白云质灰岩,单层厚度大于 2 m,风化后为浅灰-灰色,可见不规则的方解石脉体发育,脉宽 0.8~1.2 cm。17.74 m

8 灰色块状棘皮状粉细晶白云质灰岩,单层厚度大于 2 m,岩石表面风化色为灰黑色,棘皮状,未见明显层面,向上结晶颗粒逐渐变细,颜色变浅。8.76 m

7 灰色厚层含生物屑粉细晶灰岩,分化后呈深灰色,向上结晶粒度变粗。26.82 m

6 灰色薄层含白云质粉微晶白云质灰岩,单层厚 1~3 cm。9.29 m

5 浅灰色厚层含白云质泥质粉晶云岩,单层厚 30 cm,灰岩与泥岩比例为 6:1,岩石中可见似条带状的方解石团块顺层断续分布,风化后呈溶孔,局部灰岩似角砾状,向上白云质泥质条带逐渐增多。33.35 m

4 灰色薄层(泥质条纹)含生物屑微晶灰岩,单层厚 2~7 cm,局部含少量炭质,可见网状方解石脉发育,脉宽 0.1~1.3 cm,含量 1%左右,向上结晶粒度变粗。19.88 m

3 浅灰色厚层云质泥质条带灰岩,灰岩 3~10 cm,白云质泥岩呈灰黄色,0.2~1 cm,风化后凸出岩石表面,向上岩石颜色逐渐加深。6.33 m

2 浅灰色中层泥质白云条带微晶灰岩,单层厚 15~30 cm,向上条带变少,呈透镜状,可见方解石脉呈雁列式分布,脉宽 0.3~0.7 cm,岩石中含少量黄铁矿,呈淡黄色、金属光泽,粒径 0.2~0.4 cm。3.69 m

1 浅灰色厚层云质泥质条带微晶灰岩,单层厚 30~90 cm,灰岩厚 2~7 cm,云质泥岩条带 0.5~1 cm,为灰黄色,风化后凸出岩石表面,大体上呈互层出现,局部穿插、尖灭。岩石中含黄铁矿结核,呈淡黄色,金属光泽,粒径 0.3~0.8 mm,沥青沿裂缝穿层分布。23.21 m

0 土黄色薄层泥质灰岩与钙质泥岩互层。4.1 m

—————整合接触—————

石牌组(ϵ_3):灰绿色中-薄层状泥质粉砂岩。

2.2 清虚洞组岩石特征及沉积相

国际上已采用寒武系“四统十阶”的划分方案^[6],中国华南地区分为滇东统、黔东南统、武陵统和芙蓉统^[6],本文所述的清虚洞组应归为黔东南统(图 2)。为方便湖南、贵州等省地层划分与对比及科研生产的需要,笔者将地层分布图(图 1)仍采用的“三分十阶”的划分方案^[7]。

研究区域清虚洞组以发育缓坡型碳酸盐沉积为特征,由一套北厚南薄的碳酸盐岩地层构成,以十分平缓的缓坡与深水陆棚及盆地逐渐连接一起^[8]。根

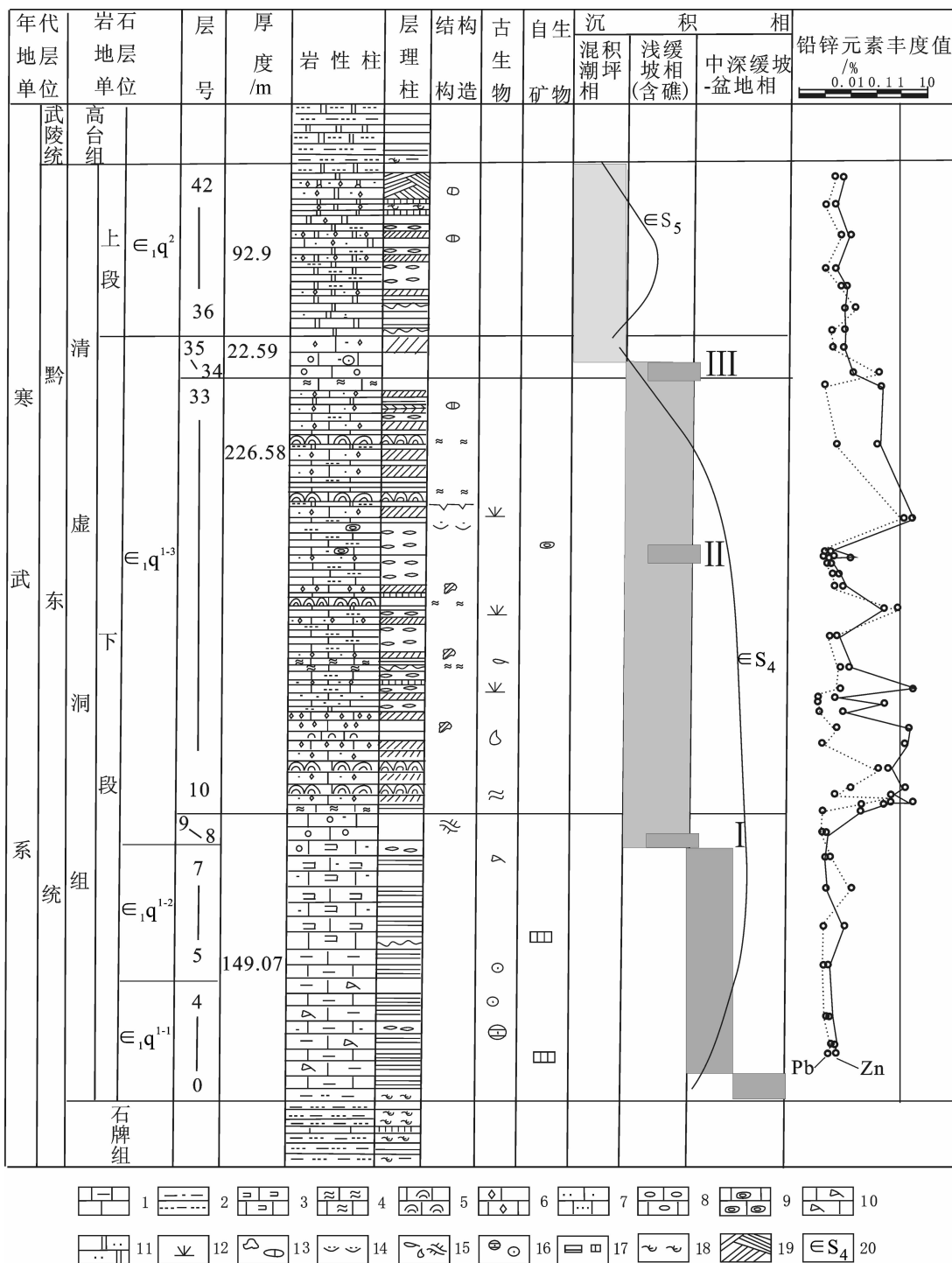


图2 贵州松桃把寨寒武系清虚洞组地层综合柱状图

1—泥晶灰岩;2—泥质粉砂岩;3—豹皮状灰岩;4—波状叠层石灰岩;5—半球状叠层石灰岩;6—粉晶灰岩;7—粉屑泥灰岩;8—砾屑灰岩;9—核形石灰岩;10—泥质条带灰岩;11—粉屑白云岩;12—表附藻类;13—晶洞构造(铸模孔);14—冲刷构造;15—微体化石及扰动构造;16—水平虫管及棘皮屑;17—水云母及黄铁矿;18—沙纹层理;19—交错层理;20—层序4

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the Cambrian Qingxudong Formation in Babazai, Songtao, Guizhou
 1—Micrite;2—Pelitic siltstone;3—Dolomitized limestone;4—Ripple nappe dolomitite;5—Hemispheric nappe dolomitite;6—Powder limestone;7—Calcisiltite;8—Calcirudite;9—Oncolites limestone;10—Ripple marl;11—powder dolostone;12—Epiphytor;13—Miarolitic texture;14—Pool structure;15—Fossils and turbulent structure;16—Fossils tube and echinoderm;17—Hydromica and pyrites;18—Ripple mark bedding;19—Cross bedding;20—Sequence 4

据清虚洞组岩性特征,可分为白云石化作用较弱的灰岩段(清虚洞组下段 \in_{iq^1})和白云岩段(清虚洞组上段 \in_{iq^2}),其中清虚洞组下段为区内铅锌容矿地层,可分为 3 个亚段(图 2),清虚洞组上段可分为 2 个亚段。清虚洞组下段第一亚段($\in_{iq^{1-1}}$)岩性为深灰色薄层含泥质泥晶灰岩与极薄层含云质泥晶灰岩互层,具水平层理,俗称间隔灰岩,米级旋回表现为深水陆棚相灰泥—泥晶灰岩组合的“L-M”型(相当于剖面的 0~4 层)。第二亚段($\in_{iq^{1-2}}$)下部为浅水陆棚相深灰色薄层含泥质粉砂屑灰岩,上部为深灰色薄—中厚层含泥云质细砂屑灰岩,云质常呈网纹状分布,俗称豹皮灰岩(相当于剖面的 5~7 层)。第三亚段($\in_{iq^{1-3}}$)以缓坡型微生物碳酸盐岩为主(相当于剖面的 8~35 层),下部为深缓坡相深灰—深灰色厚—巨厚层藻灰岩夹粉晶灰岩,藻屑灰岩及斑块状云化灰岩,米级旋回表现为粉砂屑灰岩—细砂屑灰岩—球状泥晶灰岩团块的深水不对称型,发育具不完整鲍马序列的浊积岩^[9](相当于剖面的 8~9 层,图 2 中 I)。中部为中—浅缓坡相灰色至深灰色厚层藻灰岩、灰—浅灰色厚层细—中砂屑灰岩、含藻云质灰岩,米级旋回表现为潮下型。其中微生物碳酸盐岩礁(丘)是缓坡沉积环境下十分重要的含矿沉积体,是区内铅锌矿主要容矿层(相当于剖面的 10~22 层)。上部为台地边缘礁(丘)和鲕粒滩相,岩性为藻球粒不等晶灰岩、亮晶含鲕粒内碎屑灰岩等,是区内铅锌矿次要容矿层位(相当于剖面的 23~33 层);顶部为一套风暴事件产生的砾(粒)屑灰岩层^[10](相当于剖面的 34~35 层,图 2 中 III)。清虚洞组上段(\in_{iq^2})从浅滩演化为潮坪—台地相环境(相当于剖面的 36~42 层),下部为灰色厚层粉晶云岩夹残余砂屑云岩,上部为灰—深灰色细晶云岩夹层纹石云岩,米级旋回表现为典型的“层纹石云岩—泥质云岩—角砾状云岩”之环潮型。

上扬子区的寒武系发育完整,由两个二级层序组成,滇东统和黔东统所组成的二级层序可以进一步划分为 5 个 III 级层序^[11],武陵统和芙蓉统所组成的二级层序可以进一步划分为 7 个 III 级层序。通过区域对比,研究区的铅锌矿赋存于寒武系黔东统龙王庙阶清虚洞期地层中,对应于寒武系第四层序(图 2 中 \in_{S_4})高水位体系域^[12]。

清虚洞期岩相古地理研究表明,由下至上反映出海水逐渐由深变浅的深水陆棚逐渐浅滩化的

序列,其间发育与铅矿成矿关系十分密切的藻生物丘体(图 2 中 II)。其沉积相特征大致可划分为早、中、晚期 3 个阶段,早期阶段海水较深,沉积了一套具水平层理的远滨深水陆棚相间隔灰岩($\in_{iq^{1-1}}$),之后由于海平面下降,海水变浅,区内转化为近滨部位,岩性变为浅水陆棚相粉砂屑灰岩及豹皮灰岩($\in_{iq^{1-2}}$)。同时随着浊流沉积的发生使物源丰富起来,水下砂坝开始形成,标志本区进入有障壁的局限浅海环境。中期阶段($\in_{iq^{1-3}}$)处于缓坡环境,由于障壁砂坝的阻挡作用,藻类大量繁殖并形成了大小不一的礁体呈北北东向展布,随着海退的进一步发展,风暴事件沉积导致藻类逐步衰亡,形成一套台地边缘浅滩相的亮晶含鲕粒、砂(砾)屑灰岩夹含藻砂屑灰岩。晚期阶段海水变浅,沉积环境由浅滩转化为混积潮坪相,沉积了 \in_{iq^2} 白云岩。

3 清虚洞组与铅锌成矿关系

从湘西及黔东地区寒武系清虚洞组铅锌丰度值折线(图 2 右栏和表 1)可以看出,铅锌丰度值高于工业品位 1% 的铅锌容矿层实质为第三亚段($\in_{iq^{1-3}}$)的缓坡型微生物碳酸盐岩(图 2 的 8~35 层),且微量元素镉与铅锌元素呈正相关;而下部浊流沉积一中、上部的微生物(藻)丘沉积(主要含矿层)和鲕粒灰岩沉积(次要含矿层)—顶部风暴砾(粒)屑灰岩层,构成一个完整的与铅锌成矿密切相关的控矿序列。

首先,浊流活动是构造运动影响的结果。浊积岩的存在,证明了寒武系清虚洞期的北东东向保靖—花垣—秀山断裂(图 1 中 F_1)在研究区发生了较大规模的伸展活动^[9],其活动与新元古代发生并延续到早古生代的罗迪尼亚超大陆裂解事件有关。当断裂两盘每出现一次差异性升降运动,台地边缘就出现一次崩塌,在重力作用下崩塌物向下运移至斜坡下部沉积,形成含砾质的浊积岩序列。这一过程不仅将丰富的陆源物质输送到深水部位,形成水下砂坝,同时由于障壁砂坝的阻挡作用,丰富的营养物质又使得藻类大量繁殖并形成了大小不一的微晶丘。微晶丘与同生断裂、微生物和海底热水活动有着密切的联系^[13],因而它沿断裂带呈北北东向展布。

其次,由于表附藻和尼科尔森藻^[14-15]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、藻砂屑等也能促使铅锌元素的沉淀^[16]。另一方面微生物死亡形成的腐殖酸具有表面积大,粘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。此外有机质的分解还造成还原环境,使硫酸盐还原而提供硫质来源,从而形成铅、锌硫化物的初始富集。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^[13],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。

再次,砾(粒)屑灰岩层(图 3 中 III)表明沉积环境(或条件)发生变化^[17],并导致了微生物群落的衰亡。其上基本未发现矿化,该层可作为含矿层的顶板。

4 结 论

1)清虚洞组岩性分为白云石化作用较弱的灰岩段(清虚洞组下段 \in_1q^1)和白云岩段(清虚洞组上段 \in_1q^2),铅锌容矿层为清虚洞组下段第三亚段(\in_1q^{1-3})的缓坡型微生物碳酸盐岩。

2)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)—台地边缘浅滩相和混积潮坪相组成。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。

3)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。

致谢:论文修改中得到了专家宝贵的修改意见,野外工作中得到了武汉地质调查中心上扬子项目组崔森、夏杰、赵武强、金世超、甘金木、刘劲松、王磊等的帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 曹瑞骥,袁训来. 中国叠层石研究进展 [J]. 古生物学报, 2009, 48 (3):314-321
Cao Ruiji, Yuan Xunla. Advances of stromatolite study in China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2009, 48 (3):314-321 (in Chinese with English abstract).

[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.

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 (in Chinese with English abstract).

[3] 陈洪德, 侯明才, 许效松, 等. 加里东期华南的盆地演化与层序格架 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(1):1-8.

Chen Hongde, Hou Mingcai, Xu Xiaosong, et al. Tectonic evolution and sequence stratigraphic framework in South China during Caledonian [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2006, 33(1):1-8 (in Chinese with English abstract).

[4] 刘文均. 湘黔断裂带的演化及其成矿作用特点 [J]. 地质论评, 1985, 31(3):224-231

Liu Wenjun. Evolution of Hunan-Guizhou fault zone and the features of mineralization [J]. Geological Review, 1985, 31 (3):224-231 (in Chinese with English abstract).

[5] 杨志坚. 横贯中国东南部的一条古断裂带 [J]. 地质科学, 1987, 22 (3):221-230.

Yang Zhijian. A Paleofault zone traversing southeastern China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1987, 22 (3):221-230 (in Chinese with English abstract).

[6] 彭善池. 全球寒武系四统划分框架正式确立 [J]. 地层学杂志, 2006, 30(2):147-148.

Peng Shanchi. A new global framework with four series for Cambrian system [J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30(2):147-148 (in Chinese with English abstract).

[7] 湖南省地质矿产局. 湖南省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997, 62-66

Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. Stratigraphy (lithostratic) of Hunan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997:62-66 (in Chinese).

[8] 刘宝珺, 叶红专, 蒲心纯. 黔东、湘西寒武纪碳酸盐重力流沉积 [J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3):235-246.

Liu Baojun, Ye Hongzhan, Pu Xinchun. Cambrian carbonate gravity flow deposits in Guizhou and Hunan [J]. Oil & Gas Geology, 1990, 11(3):235-246 (in Chinese with English abstract).

[9] 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]. Scientia Geologica Sinica, 2008, 43 (2):347-358 (in Chinese with English abstract).

[10] 周琦, 颜佳新, 张命桥. 黔东北地区寒武系清虚洞组钙质风暴岩及其地质意义 [J]. 地质科技情报, 2006, 25(2):25-28.

Zhou Qi, Yan Jiaxin, Zhang Mingqia. Calcareous tempestite from the Cambrian Qingxudong Formation in Northeastern Guizhou Province and their geological implications [J]. Geological Science and Technology Information 2006, 25(2):25-28 (in Chinese with

English abstract).

- [11] 梅冥相, 张丛, 张海, 等. 上扬子区下寒武统的层序地层格架及其形成的古地理背景[J]. 现代地质, 2006, 20(2):195–208.

Mei Mingxiang, Zhang Cong, Zhang Hai, et al. Sequence-stratigraphic frameworks and their forming backgrounds of Paleogeography for the Lower Cambrian of the Upper-Yangtze Region [J]. Geoscience, 2006, 20 (2):195–208 (in Chinese with English abstract).

- [12] 汤朝阳, 邹先武, 李堃, 等. 湘西—黔东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.

Tang Zhaoyang, Deng Feng, Li Kun, et al. Sedimentary sequence of the Lower Cambrian Qingxudong Formation in the western Hunan and eastern Guizhou and its constrains on Lead-Zinc mineralization [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(1): 111–117(in Chinese with English abstract).

- [13] 章雨旭, 吕洪波, 张绮玲, 等. 微晶丘成因新认识[J]. 地球科学进展, 2005, 20(6):693–700.

Zhang Yuxu, Lu Hongbo, Zhang Qiling, et al. A new consideration on the genesis of mud mound [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(6):693–700 (in Chinese with English abstract).

- [14] 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, 44(3):9–19.

Wang Jian, Zhuang Ruli, Lao Ketong, et al. Division and geological implications of calcareous aigal morphological groups and environmental zones in the Lower Cambrian Qingxudong formation Huayuan distric, Western Hunan [J]. Lithoface and Paleogeography, 1990, 44(3):9–19 (in Chinese with English abstract).

- [15] 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):61–67.

Zheng Rongcai, Zeng Yunfu. Sedimentary characteristics of early Cambrian Yutang organic reefs in western Hunan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6 (2):61–67 (in Chinese with English abstract).

- [16] 侯奎, 陈延成. 四川秀山下寒武统清虚洞组的骨骼葛万藻藻鲕及岩石学意义[J]. 岩石学报, 1990, 18(4):85–93.

Hou Kui, Chen Yancheng. Skeletal girvanella oolites and its petrological significance in Lower Cambrian of Xiushan, Sichuan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1990, 18 (4):85–93 (in Chinese with English abstract).

- [17] 郑秀才, 郭成贤, 高振中, 等. 湘西下寒武统清虚洞组碳酸盐缓坡沉积相特征[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(3):15–20.

Zheng Xiueai, Guo Chengxian, Gao Zhenzhong, et al. A Carbonate ramp of Lower Cambrian Qingxudong formation in West Hunan [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1992, 14 (3):15–20 (in Chinese with English abstract).

Stratigraphic characteristics of the Cambrian Qingxudong Formation in relation to lead–zinc mineralization in western Hunan–eastern Guizhou area

TANG Zhao–yang¹, DENG Feng², LI Kun¹, DUAN Qi–fa¹, ZOU Xian–wu¹, DAI Ping–yun¹

(1. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430223, Hubei, China; 2. No. 1 Institute of Geology and Mineral Exploration, Henan Bureau of Geo–exploration and Mineral Development, Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract: In the western Hunan–eastern Guizhou area, the Cambrian strata are well developed and characterized by sedimentary succession from black shale to carbonate rocks. Vertically, the limestone segment and dolomitite segment constitute the Qingxudong Formation made up of an upward–shoaling succession of sedimentary facies and demonstrates a growth process of the ramp carbonate platform. Horizontally, the principal lithofacies palaeogeographic units in the study area have been recognized, which include carbonate tidal flat, subtidal facies of restricted platform, platform marginal bioherm (or bank) facies and shallow ramp–deep ramp facies as well as shelf–basin facies in southward succession. All these data suggest that the formation of the lead–zinc deposits was controlled by stratigraphy, lithologic character and lithofacies–palaeogeographic framework and related to turbidite and tempestite. The host rocks (reservoir beds) were micrite mounds (mud mounds) formed by CO₂–bearing hydrothermal solution and bio–process. The assemblage made up of turbidite and micrite mounds (algal bioherm) and rudstone was a well developed succession favorable for the formation of lead–zinc deposits.

Key words: lead–zinc mineralization; sedimentary sequence; Cambrian; western Hunan–eastern Guizhou area

About the first author: TANG Zhao–yang, male, born in 1969, senior researcher, engages in the study of deposit and stratigraphy; E–mail: achun168168@yahoo.com.cn.