

广西德保县荣华锰矿床地质特征研究

裴秋明^{1,2}, 李社宏^{1,2}, 苑鸿庆^{1,2}, 刘建强¹, 刘祥³, 曹华文⁴

(1. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西地质工程中心重点实验室, 广西 桂林 541004; 3. 桂林理工大学 博文管理学院, 广西 桂林 541004; 4. 中国地质大学 地球科学与资源院, 北京 100083)

摘要: 荣华锰矿赋存于桂西三叠系百逢组中, 为该层位首次发现的中型规模锰矿。笔者通过参与矿区锰矿勘查工作, 采用室内外观测、测试、工程揭露和验证等手段, 对研究区地层、构造、沉积演化、含矿层位、矿体及矿石矿物特征、矿床成因和找矿标志等方面进行了分析探讨。研究发现荣华锰矿为典型的沉积-锰帽型矿床, 严格受地层和构造因素控制; 矿石类型主要为氧化锰矿贫锰矿石, 氧化锰矿物主要为水羟锰矿、硬锰矿及软锰矿; 矿床成因与原始沉积作用、后期风化淋滤等有重要关系; 百逢组浊积岩之下、罗楼组碳酸盐岩之上的狭窄范围是荣华锰矿的典型找矿标志, 该标志对大量出露三叠系百逢组的桂西地区具有普遍意义, 同时指出桂西地区该组地层内具有良好的找矿前景。

关键词: 荣华锰矿; 百逢组; 氧化锰; 地质特征; 矿床成因

中图分类号: P618.32

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)02-0343-12

Geological characteristics of the Ronghua manganese deposit in Debao County, Guangxi

PEI Qiu-ming^{1,2}, LI She-hong^{1,2}, YUAN Hong-qing^{1,2}, LIU Jian-qiang¹, LIU Xiang³ and CAO Hua-wen⁴

(1. School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Key Laboratory of Geological Engineering Center of Guangxi, Guilin 541004, China; 3. Bowen College of Management, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Located in the Middle Triassic Baifeng Formation of Western Guangxi, the Ronghua manganese deposit is the first economic Mn deposit discovered in Baifeng Formation. Based on geological exploration, laboratory analysis, testing and engineering work, the authors studied the ore deposit in such aspects as strata, structure, sedimentary evolution, ore-bearing horizon, ore body and ore characteristics, genesis and prospecting criteria and, on such a basis, reached the conclusion that the Ronghua manganese deposit is a typical sedimentary-manganese hat deposit, strictly controlled by strata and structure. The main types of manganese minerals include vernadite, psilomelane and pyrolusite. The formation of the ore deposit was mainly related to original sedimentation, weathering and leaching. There exists good prospecting potential between the turbidite of Baifeng Formation and the carbonate rock of Luolou Formation. The strata of the Baifeng Formation are widely exposed in western Guangxi. These typical prospecting criteria may contribute to finding new manganese deposits and have a universal meaning.

Key words: Ronghua manganese deposit; Baifeng Formation; manganese oxide; geological characteristics; genesis of deposit

收稿日期: 2013-05-10; 修订日期: 2013-11-21

基金项目: 桂林理工大学人才引进资金资助项目(gg201103); 教育部地质工程中心开放基金

作者简介: 裴秋明(1989-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事矿产勘查研究, E-mail: peiqm2010@163.com

锰矿石是重要的基础性原料矿产,同铁、铬矿石一起,被称为钢铁冶炼的三大基本矿物原料,在国民经济中占有重要的战略地位。2012年,我国自产锰矿石 310 万吨(净矿),对外矿的依存度达 62%(薛友智, 2012),因此研究锰矿床的地质特征,总结其成矿规律,寻找新的锰矿资源显得尤为重要。中国的锰矿以沉积型锰矿为主,严格受地层控制,有关地层、岩相古地理、构造等方面的研究是沉积型锰矿研究的基础和重点。在桂西地区多个时代地层内有锰矿体顺层分布(茹延铨等, 1992; 骆华宝, 2002; 薛友智等, 2006),其中三叠系是一个重要的含矿层位(黄世坤等, 1985; 宋雄, 1989; 陈仁义等, 2004)。20 世纪 90 年代以来,众多专家学者对桂西及邻近地区三叠系做了广泛而深入的研究,建立了比较完善的桂西三叠系地层格架(杨遵仪等, 1982; 何锦汉等, 1983; 张继淹, 1995, 1997; 田景春等, 2000),对区域内层序及构造演化等方面也做了大量的研究工作,总结了桂西三叠系岩相古地理及构造演化特征(陈洪德等, 1990; 张锦泉等, 1994; 刘志丽等, 2001; 吴浩若, 2003; 肖加飞, 2005; 杜远生等, 2009, 2013; 张成弓, 2010; 杨怀宇, 2010)。在桂西及邻近地区,地质工作者先后在下三叠统北泗组和中三叠统晚期法郎组(滇东南地区)中发现了规模巨大的工业锰矿,具有重要的经济价值。在中三叠统百逢组中,尽管已发现锰矿化线索,但一直未见中大型的锰矿的报道。笔者通过参与广西德保县荣华锰矿区勘查工作,在三叠系中统百逢组泥岩中发现工业锰矿体,矿床达中型规模(裴秋明等, 2013)。通过野外详细地质工作及实验分析,对研究区内地层、构造、沉积演化以及矿床等地质特征进行研究,为今后在该层位寻找同类矿床提供资料。

1 地质概况

在区域上,广西德保县荣华锰矿位于扬子板块右江裂谷盆地靖西地块南东部位(王永磊等, 2010),夹持于云开地体与越北地体之间,在特提斯构造域与濒太平洋构造域的复合作用下(梁金城等, 2001),既受东西向隆起带的控制,又受北北东向区域大断裂带的影响(图 1)。研究区由于受到北北东向同沉积断裂构造的影响,形成一系列北东向排列的背、向斜褶皱构造,控制了泥盆系至三叠系沉积岩系的分布,背斜褶皱轴两翼出露二叠系、三叠系。区域

构造以北东向褶皱、断裂为主,产状较缓,岩层产状倾角一般为 30~60°。该区域内出露的地层有三叠系中统百逢组、下统罗楼组,二叠系中统茅口组。广泛分布于全区的三叠系中统百逢组(T_2bf)主要为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩等,可细分为 3 段,本次工作发现的矿体顺层分布于百逢组第 1 段底部的泥岩、粉砂岩中。百逢组地层在北东侧不整合于罗楼组(T_1l)之上(部分地段整合接触),在南东侧不整合于中二叠统茅口组(P_2m)之上。荣华向斜控制研究区基本构造格架,区内那庙背斜呈北北西向分布,在北西部抬起,东面延伸到那庙居民区山坡再隐伏插入百逢组第 1 段地层中,控制矿体的空间展布。

2 含矿地层岩石特征

研究区的含矿层位为三叠系中统百逢组,根据实地调查岩石组合特征,百逢组(T_2bf)地层可划分为 3 个大的岩性段(图 2):

第 3 段(T_2bf^3)主要为青灰-灰白色弱硅化细粒杂砂岩、浅红-紫红色泥岩,块状构造,主要矿物成分为石英,含量达 75%~80%,长石次之,含量为 10%~20%,可见少量岩屑,含量为 5%~10%。该段下部可见大量裂隙和次生方解石、石英细脉,次生淋滤的锰条带和锰染广泛分布。

第 2 段(T_2bf^2)地层倾角明显增大,主要出露在地形陡峭的沟谷地区,岩性主要为灰-青灰色中厚层状岩屑砂岩(图 3a),块状构造,局部夹锰土质粉砂岩、泥岩,含植物碎片。该段水平层理发育。

第 1 段(T_2bf^1)为该研究区主要的含矿层位。该层顶部有一砾岩层,见图 3b、3c。砾岩磨圆度高、无分选性、具有明显的定向性,粒径大多在 5~60 cm 之间。多见槽模等底层面构造,在砂砾岩上部逐渐过渡为纹层段,可见鲍马层序中的 AC、ACD 段,显示出典型的浊积岩特征,该特征也是百逢组的沉积标志之一(吴江等, 1992; 张继淹, 1997)。厚度 20~50 m,在研究区北部较厚,南部较薄。百逢组第 1 段中下部为土黄-灰白色泥岩,泥质结构,薄-中层状、板状构造。单层厚 6~25 cm,可见水平层理,该段中下部泥岩镜下特征见图 3d。岩石的主要组成矿物为石英(55%~60%)、隐晶质粘土矿物(20%~25%)、绢云母(5%~10%)、黑云母(2%~5%),其它矿物有黄铁矿(<1%)、褐铁矿(<1%)、铁闪锌矿(<1%)、电气石(<1%)、楣石(<1%)、锆石(<1%)、

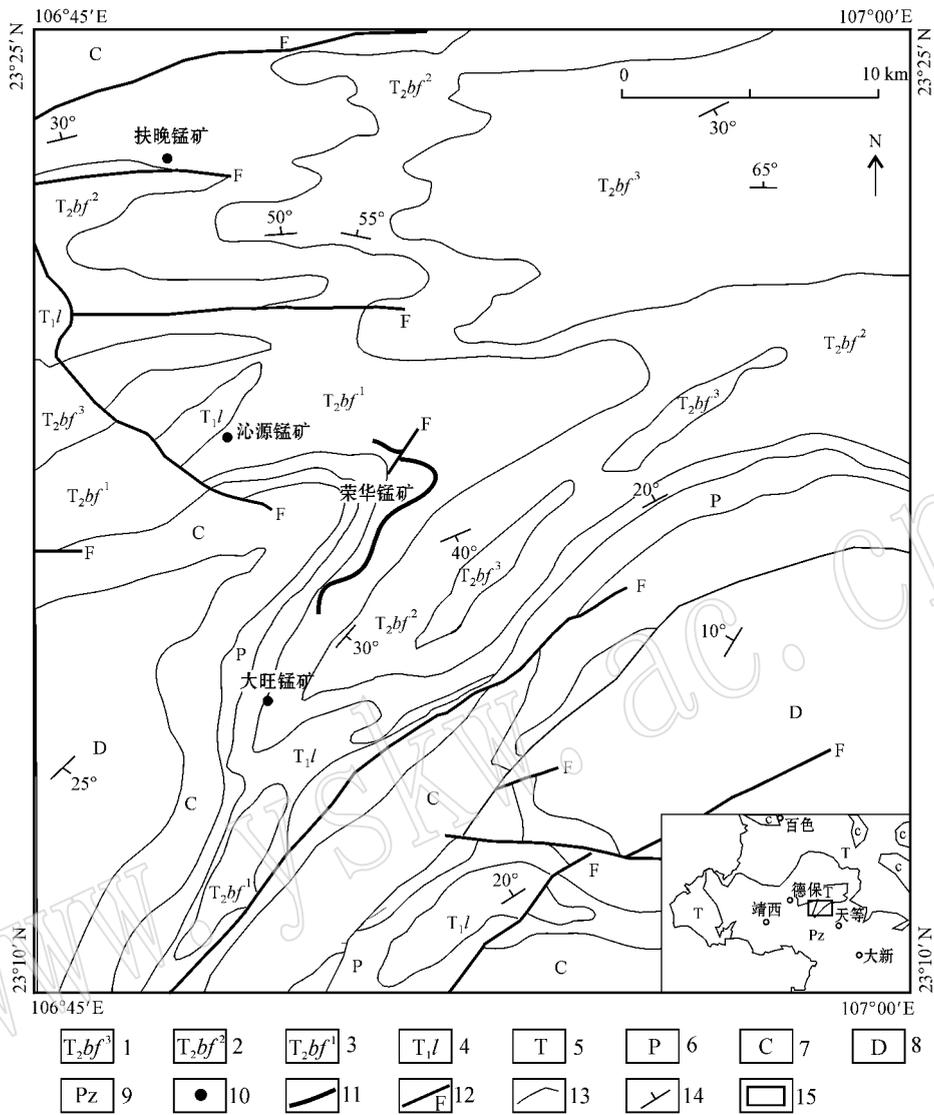


图 1 荣华锰矿区域地质简图(据桂林理工大学勘察设计研究院 2013^①)

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Ronghua manganese ore district(after Guilin University of Technology Survey and Design Institute , 2013^①)

- 1—中三叠统百逢组第三段；2—中三叠统百逢组第二段；3—中三叠统百逢组第一段；4—下三叠统罗楼组；5—三叠系；6—二叠系；7—石炭系；8—泥盆系；9—古生界；10—锰矿点；11—锰矿体；12—断层；13—地层界限；14—产状；15—研究区位置
- 1—third member of Middle Triassic Baifeng Formation；2—second member of Triassic Baifeng Formation；3—first member of Middle Triassic Baifeng Formation；4—Lower Triassic Luolou Formation；5—Triassic；6—Permian；7—Carboniferous；8—Devonian；9—Palaeozoic；10—manganese ore spot；11—manganese ore body；12—fault；13—stratigraphic boundary；14—attitude；15—location of the study area

局部含极少量的粉砂质成分,矿物粒度较小,一般在 0.05~0.15 mm 间。同时可以清晰地发现泥岩中的锰矿化保留了原岩中含条带状锰的特征,后期风化过程使得部分锰元素不断淋滤富集,呈条带状赋存

于泥岩中,并保留一定的定向分布特征(图 3e)。泥岩层间和顺层劈理较发育,该层厚度大于 75 m。在研究区进行野外勘查工作时,还发现了百逢组特征化石——菊石(图 3f)。

① 桂林理工大学勘察设计研究院. 2013. 广西德保县荣华矿区氧化锰矿补充详查报告.

系	统	组	厚度/m	柱状图	岩性描述
三 叠 系	中 百 逢 组	第3段 T_2bf^3	26		上部为青灰-灰白色弱硅化细粒砂岩,岩石风化能力,主要出露于山顶部位,多锰染;下部为浅红-紫红色泥岩夹砂岩、粉砂岩,见平行层理等原生构造。
			52		
		第2段 T_2bf^2	25		上部青灰-灰色厚层状细粒砂岩夹泥岩、砂质泥岩,有弱锰染现象。 下部为青灰色中厚层状粉砂岩夹薄层状泥岩、泥质粉砂岩,地层倾角明显增大,风化弱。
	第1段 T_2bf^1	32		上部为灰白色,土黄色砾岩夹少量泥岩,粉砂质泥岩,可见鲍马序列。 下部为土黄-灰白色泥岩,泥质粉砂岩夹少量砂岩和泥灰岩。含菊石 <i>sibirites</i> sp., <i>paracrochondicer</i> sp., 中下部锰矿层顺层分布于泥岩中。	
下 统	罗 楼 组 T_1l		13		上部浅灰色、灰黑色薄层-中层泥质灰岩,常含鲕石结核及团块。
			57		下部为灰色厚层微晶灰岩夹角砾状、竹叶状灰岩。产瓣鳃类化石。

图2 研究区地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic columnar section of the study area

3 矿体分布特征

在研究区共发现4条氧化锰矿体,1条氧化锰矿体,共划分为6个矿层、5个夹层,矿体埋深0~95 m,其中3、4号矿层为主矿层。据矿体分布图(图4),I号矿体和II号矿体被北东向F1断裂错断,断距达500 m;IV号矿体受那庙隐伏背斜的控制,平面上呈现“7”字型,在剖面图(图5)上可以直观看到那庙背斜对矿体的控制作用。锰矿体呈层状、似层状缓倾斜产出,除I号矿体以外,其余矿体在浅部倾角较小,一般小于40°,进入氧化还原界面之后,倾角明显增大。这6个矿层的基本特征如下:1号矿层共分为5段,最长约660 m,最短约32 m,倾向延伸20~180 m,矿层平均厚度2.17 m,平均品位16.71%;2

号矿层分为6段,在矿区分布广泛,最长约680 m,平均厚度2.29 m,该矿层品位10.07%~26.01%,平均品位18.85%;3号矿层为区内发现的最稳定的氧化锰矿层,该矿层底板多为泥岩,顶板多为粉砂质泥岩或泥质粉砂岩,共分为3段,最长约1600 m,主要分布在那庙背斜南翼,平均倾向134°,平均倾角16°,矿层厚度0.83~4.64 m,平均2.79 m。矿层品位13.07%~24.34%,平均17.43%;4号矿层也是矿区重要的矿层之一,分为4段,最长约1160 m,往往和3号矿层同时存在,平均倾向146°,平均倾角22°,沿倾向延伸20~200 m,厚度0.74~3.6 m,平均厚度2.25 m,矿层平均品位17.34%。5号和6号矿层分布于近地表,平均倾向140°,平均倾角25°,延伸不稳定,其中5号矿层平均厚度2.12 m,平均品位17.34%,6号矿层平均厚度1.24 m,平均品位18.14%。整体而言,研究区内出露的矿体实际上是同一矿带在不同地段的出露,顺层分布于三叠系百逢组第1段地层中,为典型的层状矿体。

4 矿石矿物特征

4.1 矿石特征

区内主要的矿石类型是氧化锰矿石,呈灰黑、棕黑至暗黑色。在垂直矿层层面向,上部一般颜色比较一致,中下部颜色则比较混杂。矿石一般呈现3种状态产出:a为与泥岩互层的薄层状,一般为等厚互层,矿石结构较致密,呈片状、薄碎块状,为主要的产出状态(图3g);b为土状、胶状,岩石结构松散,此类矿石主要呈钢灰-黑色,一般分布在泥岩和粉砂岩中,大部分为渐变接触(图3h);c为垂直层面的裂隙分布,主要呈薄片状、胶状和碎块状,岩石裂隙发育,细锰条带充填现象普遍,但一般规模不大(图3i)。矿石结构、构造相对比较简单,结构主要有隐晶结构、鲕状结构、鳞片状结构,构造主要有块状构造、胶状构造、脉状构造、网状构造、侵染状构造、角砾状构造。

选取研究区具代表性的氧化锰矿石送广西壮族自治区冶金产品质量监督检测站进行化学分析,结果见表1。从分析结果可知,矿石中Mn平均含量16.15%,Fe平均含量4.86%,P平均含量0.07%,Co平均含量0.01%,SiO₂平均含量44.97%,P/Mn比值介于0.0029~0.0123,平均0.005,Mn/Fe比值为1.3725~4.8565,平均3.3736,研究区内锰矿

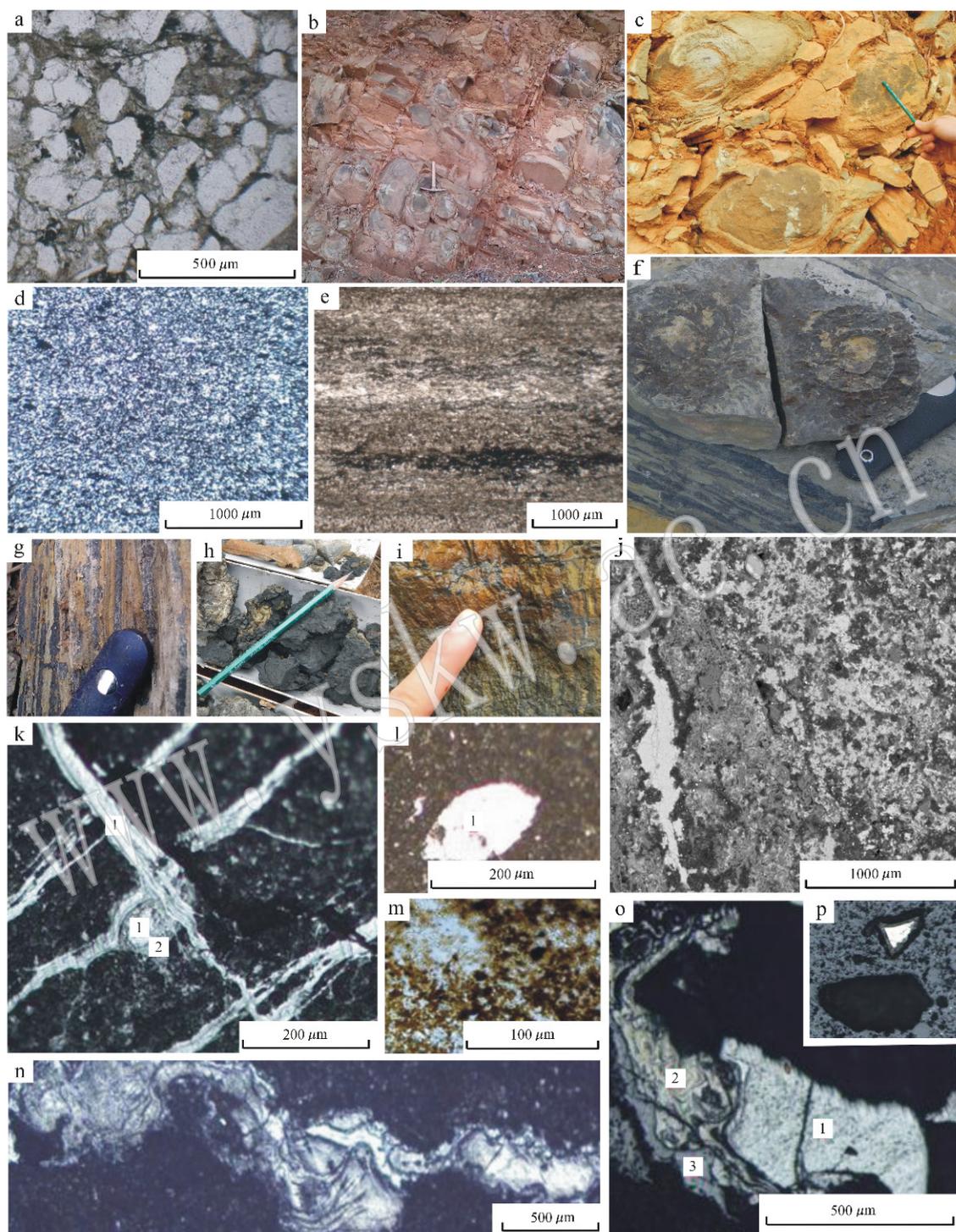


图3 研究区岩石及矿物特征照片

Fig. 3 Photographs showing characteristics of rocks and minerals in the study area

a—岩屑砂岩；b—定向排列砾岩；c—泥岩中夹砾岩；d—土红色泥岩；e—含锰泥岩；f—菊石化石；g—锰矿与泥岩互层；h—锰矿呈分散状；i—锰矿沿裂隙充填；j—水羟锰矿（背散射图像）；k—水羟锰矿2与硬锰矿1呈细脉网状共生；l—单粒状水羟锰矿1；m—水羟锰矿（棕黑色）、褐铁矿（浅黄色）、呈星点状嵌布于粘土矿物中（无色透明）；n—胶状硬锰矿；o—水羟锰矿3、硬锰矿1、软锰矿2密切共生；p—黄铁矿的自形晶粒及其流失后形成的空洞

a—lithic sandstone; b—aligned conglomerate; c—conglomerate in mudstone; d—red mudstone; e—Mn-mudstone; f—ammonite fossil; g—manganese ore interbedded with mudstone; h—dispersions of manganese ore; i—manganese ore filling fractures; j—vernadite (BSE); k—vernadite 2 and psilomelane 1 coexistent with vernadite 2 in veinlet and stockwork structure; m—brownish black vernadite and duff limonite in clay minerals with starry structure; n—colloidal psilomelane; o—pyrolusite 2 closely coexistent with vernadite 3 and psilomelane 1; p—euhedral pyrite grains and voids formed after loss

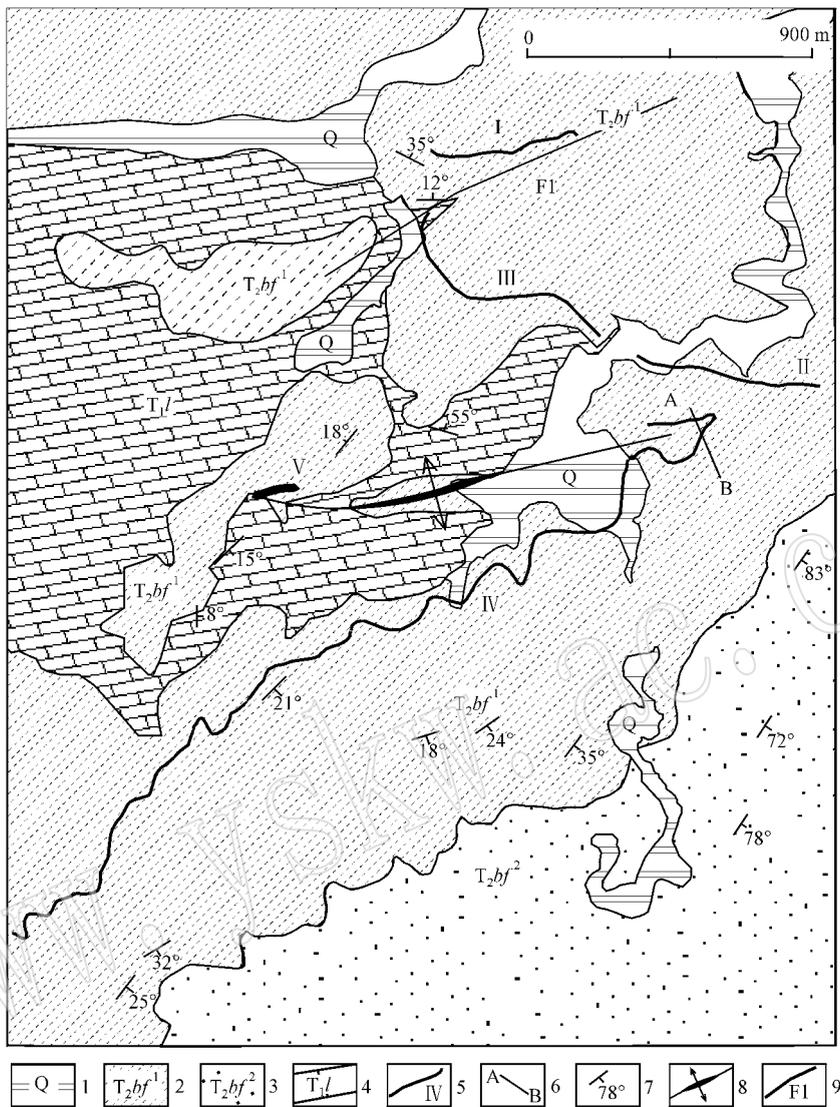


图4 研究区矿体分布图

Fig. 4 A distribution map of ore body

1—第四系；2—三叠系百逢组第1段；3—三叠系百逢组第2段；4—三叠系罗楼组；5—矿体及其编号；6—A-B剖面线；7—产状；8—背斜构造；9—断层

Fig. 4 Distribution of ore bodies in the study area

1—Quaternary；2—first member of Middle Triassic Baifeng Formation；3—second member of Triassic Baifeng Formation；4—Lower Triassic Luolou Formation；5—manganese ore body and its serial number；6—A-B section line；7—attitude；8—anticline；9—fault

石属于氧化锰矿贫锰矿石。

4.2 矿物学特征

借助显微镜下鉴定、矿物物相分析、电子探针分析等手段对区内氧化锰矿物进行矿物学特征探讨。研究发现荣华锰矿床中的矿石矿物主要有水羟锰矿、硬锰矿、软锰矿等，含褐铁矿、黄铁矿等铁矿物及金红石等，此外，利用电子探针能谱分析还发现少量锆石及稀土矿物；脉石矿物主要有燧石、石英、粘土矿物（高岭土、绢云母、水云母等）、方解石等。对氧

化锰矿石进行锰的物相分析，结果显示锰主要以 Mn^{4+} 形式存在， Mn^{4+} 均占样品中锰含量的 80% 以上，与显微镜下鉴定结果一致。

以下对几种主要矿物进行介绍。

水羟锰矿：又被称为偏锰酸矿，复水锰矿（姚敬劬，1994；萧绪琦等，1997），是一种复杂的锰的氧化物及氢氧化物，分子式 $(Mn^{4+}, Fe^{3+}, Ca, Na)XO, (OH)_2 \cdot nH_2O$ 。水羟锰矿通常呈棕褐色、咖啡色、黑色胶状及土状的似姜状集合体，常常混杂石英、粘土

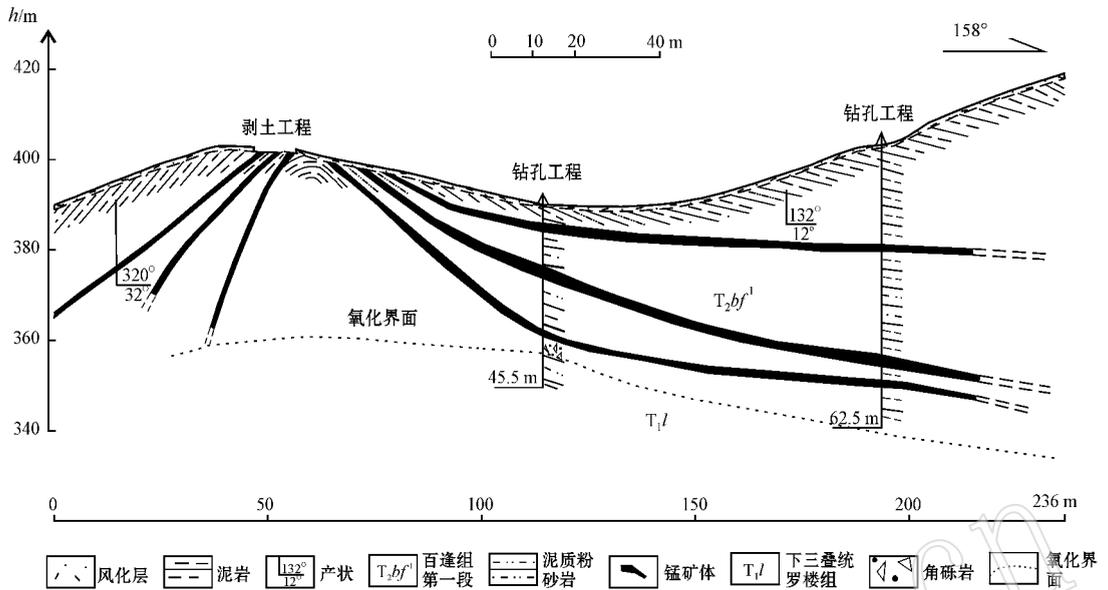


图 5 研究区 A-B 线剖面图

Fig. 5 Geologic section of A-B line in the study area

表 1 荣华锰矿氧化锰矿石化学分析结果

$w_B/\%$

Table 1 Chemical analyses of Mn-oxides samples from Ronghua

检验编号	Mn	Fe	P	Co	SiO ₂	P/Mn	Mn/Fe
P1203044	19.79	5.07	0.07	0.01	41.24	0.0037	3.9034
P1203083	10.19	4.76	0.08	0.01	51.46	0.0076	2.1408
P1203109	16.31	4.36	0.06	0.01	47.39	0.0036	3.7408
P1203130	17.12	4.04	0.06	0.01	46.89	0.0034	4.2376
P1203156	18.56	5.75	0.08	0.01	42.06	0.0041	3.2278
P1203186	15.33	4.52	0.06	0.01	48.56	0.0042	3.3916
P1203222	18.64	5.72	0.09	0.01	41.46	0.0048	3.2587
P1203240	7.22	5.25	0.09	0.01	44.77	0.0123	1.3752
P1203277	16.72	4.64	0.06	0.01	46.16	0.0037	3.6034
P1203302	21.66	4.46	0.06	0.01	39.73	0.0029	4.8565
平均值	16.15	4.86	0.07	0.01	44.97	0.0050	3.3736

注：检验依据/方法为 GB/T 1506-200X Mn 电位滴定法和硫酸亚铁铵滴定法 JY/T 015-1996 Co 感耦等离子体原子发射光谱方法 JY/T 016-1996 Fe、P、SiO₂ 波长色散型 X 射线荧光光谱方法。

表 2 研究区锰矿物中锰的物相分析结果表

$w_B/\%$

Table 2 Chemical phase analysis of Mn in manganese minerals of the study area

测试编号	样品类别	Mn	Mn ²⁺	Mn ³⁺	Mn ⁴⁺	Mn ⁴⁺ /Mn
13W04330001	锰矿	14.53	0.52	1.57	12.33	84.86
13W04330002	锰矿	17.69	0.68	1.98	14.92	84.34
13W04330003	锰矿	16.92	0.68	2.53	13.6	80.38
13W04330004	锰矿	17.56	0.63	2.16	14.6	83.14
13W04330005	锰矿	18.22	0.63	1.85	15.64	85.84

注：仪器名称 (Advantage) 全谱 ICP；测试环境：温度 20℃，湿度 60%；测试单位：广西壮族自治区地质矿产测试研究中心。

矿物。利用电子探针显微分析仪 (JXA-8230 JEOL 公司) 进行背散射电子成像, 主要呈分散状、脉状、星点状 (图 3j)。反射率黄光为 4.3%~7.1%, 在显微镜下可见其呈细脉状 (图 3k) 扁鲕粒状 (图 3l) 产出,

或呈不规则块状与泥质充填物嵌布在一起 (图 3m)。硬锰矿: 分子式为 BaMn²⁺Mn₉⁴⁺O₂₀·3H₂O, 颜色为黑色, 主要呈坚硬的隐晶质的不规则或胶体状产出 (图 3n), 由胶状水羟锰矿中析出, 与水羟锰矿共

生,有时掺杂有少量硅质的泥质物和铁的氢氧化物,反射率黄光为 25%~28%,双反射不明显,显微硬度 642~875 kg/mm²。在形态上往往具有胶态形成的致密块状、同心圆状、皮壳状、结核状、细网脉状及不规则形态等特点。

软锰矿:分子式为 MnO₂,是富锰矿石的主要成分。一般为灰色、灰黑色,呈胶状环带嵌布于硬锰矿中边缘,部分呈微晶粉末状浸染于矿石中,大多数软锰矿与水羟锰矿、硬锰矿密切共生(图 3o)。矿相镜下为白带乳黄色,明显非晶质性,反射率光为 26.82%~28.05%,显微硬度 736~854 kg/mm²。

铁的氧化物:主要为褐铁矿和黄铁矿,其中褐铁矿主要呈胶体状与锰矿物及粘土矿共生,少数呈微晶球粒状夹杂于粘土矿物中,构成硬质含铁的粘土矿物,黄铁矿呈自形晶粒状产出,部分因风化作用呈不规则粒状,多数黄铁矿因风化淋滤而流失,形成大小不等的空洞(图 3p)。

金红石:在背散射图像下呈现亮白色,含量不多,但纯度极高,采用半定量的能谱分析,结果显示 TiO₂ 含量 81%~100%,与典型的沉积型金红石特征(蔡剑辉等 2008)相符。

燧石:一般呈粒状集合体或隐晶质产出,磨圆度差,多为长英质矿物,一般呈板状角砾状被硬锰矿胶结,构成角砾状构造。

石英:在矿石中广泛存在,呈不规则粒状或角砾状被胶状锰矿物及粘土矿物胶结,粒度在 0.05~1.1 mm 之间。

粘土矿物:主要包括高岭石、绢云母、水云母,呈细鳞片状集合体产出,或呈粉末状充填在矿石的孔洞、裂隙中,部分高岭石、绢云母、水云母呈鲕粒状、香肠状分布于水羟锰矿、硬锰矿、软锰矿、褐铁矿中。

5 矿床成因探讨及典型找矿标志

5.1 矿床成因探讨

研究区锰矿呈层状、似层状赋存于中三叠统百逢组第 1 段下部岩层中,严格受地层层位控制,为典型的沉积-锰帽型矿床。据潘桂棠等(2009)对中国大地单元的构造单元划分,本区大地构造位置处于扬子陆块区上扬子古陆块南盘江-右江前陆盆地。曾允孚等(1995)在研究右江盆地的演化与矿化作用时指出:产于中三叠世的层控矿床,在物质来源、成

矿机制和分布规律等方面,都与盆地的发展有着密切的关系。右江盆地在特提斯构造域和濒太平洋构造域的复合影响下,从晚古生代至中生代经历了拉张裂解至周缘前陆盆地的演化历程(陈暑荣等,2007)。需要指出的是,研究学者对右江盆地中三叠世的构造背景目前还没有一致的认识,如弧后盆地(张锦泉等,1994;曾允孚等,1995)、残余盆地(吕洪波等,2003)、弧后前陆盆地(Li and Li,2007)、杜远生等(2009,2013)综合沉积、地球化学等多方面资料对右江盆地的构造格局演化进行探讨,并指出中三叠世右江盆地位于华南西南缘古特提斯洋关闭-初始碰撞后的周缘前陆盆地环境,给出了演化模式(图 6)。

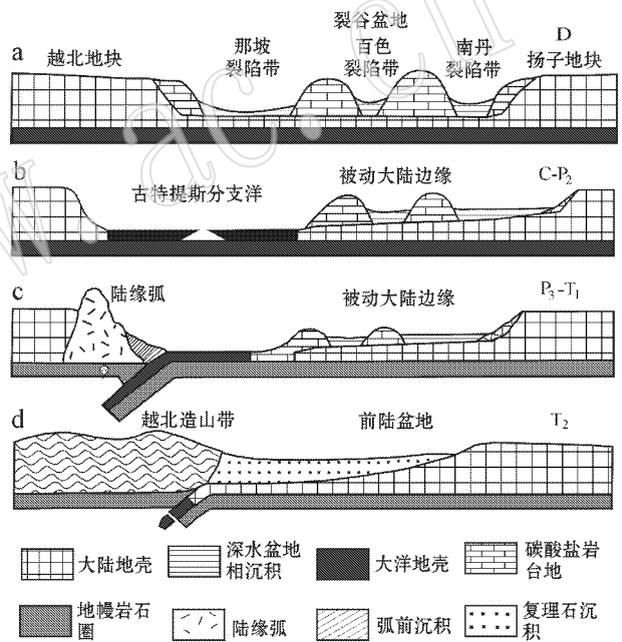


图 6 右江盆地晚古生代—中三叠世构造演化图
(杜远生等,2013)

Fig. 6 Tectonic evolution from late Paleozoic to Triassic in Yaujiang basin (after Du Yuansheng *et al.*, 2013)

中三叠世右江盆地海平面快速下降时,该区整体处于欠补偿的沉降环境,右江盆地内接受了大量的陆源碎屑沉积(刘苏桥等,2011)。最后盆地在印支运动影响下,全区抬升地表遭受风化剥蚀。在盆地构造演化过程中,伴随着大量的成矿及成藏作用(曾允孚等,1995;梅冥相等,2004;郑宽兵等,2004),本区锰矿床也是该区盆地古地理构造演化的产物。

综合以上信息,并与滇东南地区锰矿床进行类比,将该区锰质的聚集成矿划分为以下 3 个阶段,即

锰质的初始沉积阶段、锰矿的初步富集阶段、大陆氧化阶段。锰质的初始沉积阶段:在表生条件下,锰一般以胶体或离子的形式被搬运,河流中的有机质作为稳定剂,可使锰长距离搬运而很少发生沉淀,锰质则被尽可能多地搬运到沉积盆地中去。研究区周缘富锰岩石经风化淋滤作用,锰质随海水或者河流带入海洋,在还原条件下,锰的溶解度增加(许效松等,1991),且锰矿物在沉淀之初,在低的 Eh 值条件下,二价锰离子也处于稳定态, Mn^{2+} 逐渐富集起来并达到一定的浓度,在低洼部位贫氧的底层水和空隙中形成原生低品位的碳酸锰矿,沉淀部位在氧化还原界面附近(杜秋定等,2010),在研究区部分钻孔工程中发现深部有原生锰矿物,对研究区钻探工程(ZK2002)揭露的深部条带状碳酸锰矿进行化学分析,结果显示锰含量为 6.65%~8.20%[检测单位:广西壮族自治区冶金产品质量监督检测站,检验依据/方法:GB/T1506-2002(Mn)]。锰矿的初步富集阶段:研究显示锰矿物的沉淀取决于锰在海水中的溶解度和物理化学稳定场的因素,氧化还原界面不仅控制着沉积介质的性质,也直接影响锰矿的沉积类型(图7,唐云凤等,2011)。在大范围的浊流事件(洪庆玉等,1979;贺自爱,1986;张继淹,1986;秦建华等,1989)影响下(百逢组第1段),富含锰质的泥岩、泥质粉砂岩、砾岩等组成的重力流沉积快速覆盖,海水不断加深,在底部形成缺氧的还原环境,大部分初始沉积的锰质得以较好保存,另一方面带来了更多的锰质。随着陆源碎屑物质的不断注入,初始环境逐渐改变,水体中氧浓度、pH 等条件也发生相应变化, Mn^{2+} 不稳定,在氧化环境下可氧化成 Mn^{4+} ,形成稳定的 MnO_2 矿物(Roy,2006),在部分山地工程中可见原生锰矿与氧化锰矿的明显分界线。大陆氧化阶段:在百逢组第3段时期,区域上右江盆地由东南向北西大规模的抬升,本区含锰地层露出或接近地表,据研究区钻孔资料揭露,氧化锰矿层埋深均小于 100 m,同时本区所在区域构造活动较强烈,岩石裂隙发育,据研究区邻近广西下雷地区古气候资料显示,本区在区域上从晚新生代以来,一直属于炎热、多雨的热带、亚热带气候,化学、物理和生物风化作用均十分强烈(颜代蓉等,2006)。在有利的构造、气候、地形地貌等多方面因素的影响下,含锰地层岩石发生分解、氧化和锰的重新沉淀,使锰的丰度进一步增强,从而在矿区百逢组第1段富锰地段富集。

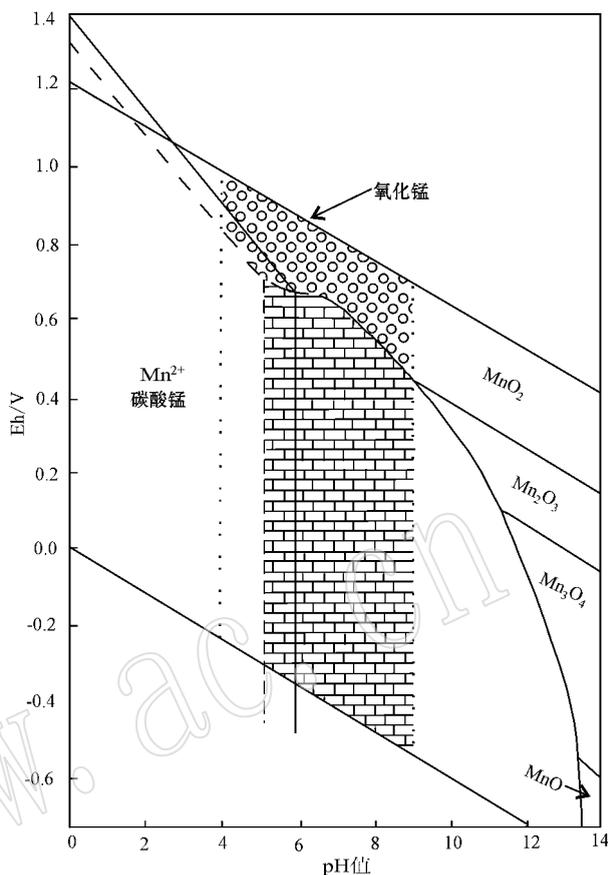


图7 氧化锰和碳酸锰在天然水中的稳定性(据 Roy 2006)
Fig. 7 Stability of Mn oxides and Mn carbonates in natural water(after Roy, 2006)

5.2 典型找矿标志

根据以上分析,研究区锰矿床属于沉积-锰帽型,该矿典型找矿标志有:

(1) 锰矿层上部百逢组第1段浊积岩发育,砾岩磨圆度高,分选差,特征明显,易于分辨;下部罗楼组碳酸盐岩与百逢组泥岩地层界限明显,在罗楼组顶部波状层理发育,容易辨别。一般在靠近碳酸盐岩附近的 200 m 范围为成矿最有利区;

(2) 由于三叠纪地层含锰背景值高,在地表遭受风化淋滤作用强烈,所以在岩石露头往往可见不同程度的锰染现象,在风化层中可见细小的含锰团块和小结核,也是良好的找矿标志。

6 结论

(1) 荣华锰矿赋存于三叠统百逢组中,为该层位首次发现的中型规模锰矿,是典型的沉积-锰帽型矿床。矿体位于下三叠统罗楼组灰岩之上,顺层分

布于百逢组第 1 段的泥岩、泥质粉砂岩中。矿石类型主要为氧化锰矿贫锰矿石,矿石中锰矿物为水羟锰矿、硬锰矿、软锰矿。

(2) 矿床的形成与右江盆地的演化具有密切的关系,大致经历了锰质的初始沉积、锰矿的初步富集、大陆氧化 3 个阶段,即在中三叠世早期演化过程中初步富集原生含锰层,经后期风化淋滤作用,矿床逐步富集,最终形成百逢组第 1 段的氧化锰矿。

(3) 本文的研究表明百逢组第 1 段浊积岩之下、罗楼组碳酸盐岩之上约 200 m 范围内为成矿最有利区。该标志对大量出露三叠系百逢组的桂西地区具有普遍意义,桂西地区该组地层内具有良好的找矿前景。

致谢 本论文得到了项目组的支持,矿山工作人员也给了很多帮助,编辑部老师给了很多有益的建议,桂林理工大学陈弘毅老师,彭艳华硕士在实验研究时都给予了耐心的指导,在此一并表示衷心的感谢!

References

- Cai Jianhui, Wang Liben and Li Jinping. 2008. Mineralogical features of rutiles of different modes of occurrence and genetic types and their research significance [J]. *Mineral Deposits*, 27(4): 531~538 (in Chinese with English abstract).
- Chen Hongde and Zeng Yunfu. 1990. Nature and evolution of the Youjiang basin [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, (1): 28~37 (in Chinese with English abstract).
- Chen Renyi and Bai Qin. 2004. The resources situation of China's Mn-ore and its exploration [J]. *China's Manganese Industry*, 22(2): 4~7 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shurong, Lu Gang, Zhang Neng, et al. 2007. Low metamorphism and deformation tectonics of triassic system in Youjiang basin-take tian 'e area as an example [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 27(3): 304~309 (in Chinese with English abstract).
- Du Qiuding, Yi Haisheng, Hui Bo, et al. 2010. A new recognition about genesis of manganese ore deposits in the Falang Formation of Middle Triassic, Southeastern Yunnan [J]. *Geological Review*, 56(5): 673~682 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Huang Hongwei, Huang Zhiqiang, et al. 2009. Basin translation from Late Palaeozoic to Triassic of Youjiang Basin and its tectonic significance [J]. *Geological Science and Technology Information*, 28(6): 10~15 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Huang Hu, Yang Jianghai, et al. 2013. The basin translation from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang basin and its tectonic significance [J]. *59(1): 1~10* (in Chinese with English abstract).
- He Jinhan and Wang Yingmin. 1983. The classification and correlation on Triassic in Western Guangxi [J]. *Journal of Stratigraphy*, 7(2): 135~139 (in Chinese with English abstract).
- He Ziai. 1986. Formation environment of turbidity current deposits in the middle triassic of Guizhou and Guangxi [J]. *Oil & Gas Geology*, 7(3): 207~217 (in Chinese with English abstract).
- Hong Qingyu and Hou Fanghao. 1979. The preliminary research on turbidite of triassic [J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, (1): 16~30 (in Chinese).
- Huang Shikun and Song Xiong. 1985. Discussion on the type of manganese deposit, mineralization controls and genesis in China [J]. *Geology and Prospecting*, 21(10): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhengxiang and Li Xianhua. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model [J]. *Geology*, 35(2): 179~182.
- Liang Jincheng, Chen Maohong and Feng Zuohai. 2001. Two kinds of large-scale fault structures and gold ore mineralization—An example from Pingxiang region [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 21(1): 13~19 (in Chinese with English abstract).
- Liu Sujiao, Chen Maohong, Huang Qingwen, et al. 2011. Geological characteristics and ore-controlling factors of Linwang gold deposit [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 31(4): 488~494 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhili and Tong Jinnan. 2001. The middle triassic stratigraphy and sedimentary paleogeography of South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(3): 327~332 (in Chinese with English abstract).
- Luo Huabao. 2002. The direction of prospecting for high quality manganese resources in China [J]. *Geology and Prospecting*, 38(4): 8~11 (in Chinese with English abstract).
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Fang Zhong, et al. 2003. Syn-sedimentary compression structures in the middle Triassic flysch of the Nanpanjiang Basin, S W China [J]. *Geological Review*, 49(5): 449~456 (in Chinese with English abstract).
- Mei Mingxiang and Li Zhongyuan. 2004. SW succession and sedimentary-basin evolution from late paleozoic to triassic in the Yunnan-Guizhou-Guangxi region [J]. *Geoscience*, 18(4): 555~563 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. 2009. Subdivision of tectonic units in China [J]. *Geology in China*, 36(1): 1~28 (in Chinese with English abstract).
- Pei Qiuming and Li Shehong. 2013. The new prospecting discovery of

- manganese deposit in the Baifeng Formation of Middle Triassic, Western Guangxi [J]. Geological Review, 59(supp.): 331~332(in Chinese).
- Qin Jianhua and Wu Yinglin. 1989. Middle Triassic turbidite fan, source area and plate tectonics in Southern Guizhou and Western Guangxi [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, (3): 1~17 (in Chinese with English abstract).
- Roy S. 2006. Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the Earth system [J]. Earth-Science Reviews, 77(4): 273~305.
- Ru yanqiang, Weilingdun and Shu Gao. 1992. Geology of Manganese Deposition in Guangxi [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~21(in Chinese).
- Song Xiong. 1989. Metallogenic epochs and distribution of China's Mn-deposits [J]. Geology and Prospecting, 25(5): 3~10(in Chinese with English abstract).
- Tang Yunfeng and Yi Haisheng. 2011. Mineral phase changes and depositional model of sedimentary manganese deposits in Dounan area of southeastern Yunnan [J]. Chinese Geology, 38(2): 451~461(in Chinese with English abstract).
- Tian Jingchun, Chen Hongde and Peng Jun. 2000. Sequence division, correlation and framework of lower and Middle Triassic in Sichuan-Guizhou-Yunnan-Guangxi region [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 18(2): 198~204(in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Wang Denghong, Zhang Changqing, et al. 2010. Molybdenite Re-Os isochron age of Debao Cu-Sn deposit in Guangxi and relation to Caledonian mineralization [J]. Mineral Deposits, 29(5): 881~889(in Chinese with English abstract).
- Wu Haoruo. 2003. Discussion on tectonic palaeogeography of Nanpanjiang sea in the late palaeozoic and triassic [J]. Journal of Palaeogeography, 5(1): 63~76(in Chinese with English abstract).
- Wu Jiang and Li Sitian. 1992. Paleocurrent directions and paleoslope inclinations of middle Triassic turbidite in Guangxi, China [J]. Guangxi Geology, 5(4): 15~24(in Chinese with English abstract).
- Xiao Jiafei. 2005. The evolution of the Mid-Proterozoic-triassic sedimentary basin and the element geochemical background of strata in SW margin of the Yangtze Block [D]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1~16(in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuqi, Guo Lihe and Liu Xinbo. 1997. Manganese minerals in polymetallic nodules of Pacific Ocean and their phase transformation [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 16(4): 80~86(in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaosong, Huang Huiqiong and Liu Baojun. 1991. The Sedimentology and origin of Early Sinian Manganese Deposits from the Datang Po Formation, South China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 9(1): 63~72(in Chinese with English abstract).
- Xue Youzhi. 2012. Geological characteristic and prospecting assessment of manganese deposit in China [J]. Acta Geologica Sichuan, 32(supp.): 14~19(in Chinese).
- Xue Youzhi and Hou Zonglin. 2006. Geology and exploration of fine quality Mn ore in China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 21(supp.): 1~4(in Chinese with English abstract).
- Yan Dairong, Li Jianwei, Hu Ming'an, et al. Characteristics and genesis of supergene manganese ores in Xialei, Guangxi [J]. Geological Science and Technology Information, 25(3): 61~67(in Chinese with English abstract).
- Yang Huaiyu. 2010. Pattern and evolution of the Devonian-Middle Triassic Tectono-palaeogeography in Hunan and Guangxi Provinces [D]. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy of China University of Petroleum (East China), 2~7.
- Yang Zunyi, Li Zishun, Qu Lifan, et al. 1982. The triassic system of China [J]. Acta Geologica Sinica, (1): 1~21(in Chinese).
- Yao Jingqu. 1994. The name of several common manganese minerals [J]. China's Manganese Industry, 12(1): 13~15(in Chinese with English abstract).
- Zeng Yunfu and Liu Wenjun. 1995. Evolution of Youjiang basin and strata-bound deposits [J]. Earth Science Frontiers, 2(4): 237~240(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chenggong. 2010. Sequence lithofacies palaeogeography characteristic and its evolution from Permian to middle triassic in south Guizhou and middle Guangxi [D]. Chengdu University of Technology, 1~70(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiyan. 1986. Middle triassic gravity-flow deposits in western Guangxi [J]. Regional Geology of China, (2): 125~132(in Chinese).
- Zhang Jiyan. 1995. Early and middle triassic sequence stratigraphy of Guangxi [J]. Guangxi Geology, 8(3): 1~10(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiyan. 1997. Discussion on the features and genesis of conglomeratic rock in lower-mid triassic series in Guangxi [J]. Guangxi Geology, 10(3): 3~8(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinqun and Jiang Tingcao. 1994. Sedimentary characteristics of triassic back-arc basin of Youjiang and its revolution [J]. Guangxi Geology, 1~70(in Chinese with English abstract).
- Zheng Kuanbing, Deng Jun, Li Hao, et al. 2004. The drowned unconformities between Permian and triassic in the Dianjiangui basin and its adjacent areas [J]. Geoscience, 18(4): 564~571(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡剑辉,王立本,李锦平. 2008. 不同产状和成因类型的金红石矿物学特征及其研究意义[J]. 矿床地质, 27(4): 531~538.
- 陈洪德,曾允孚. 1990. 右江沉积地的性质及演化讨论[J]. 岩相古地理, (1): 28~37.
- 陈仁义,柏 琴. 2004. 中国锰矿资源现状及锰矿勘查设想[J]. 中国锰业, 22(2): 4~7.
- 陈暑荣,陆 刚,张 能,等. 2007. 右江盆地三叠系的极低级变质作用与变形构造——以天峨地区为例[J]. 桂林工学院学报, 27(3): 304~309.
- 杜秋定,伊海生,惠 博,等. 2010. 滇东南中三叠统法郎组锰矿床成因的新认识[J]. 地质论评, 56(5): 673~682.
- 杜远生,黄宏伟,黄志强,等. 2009. 右江盆地晚古生代-三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. 地质科技情报, 28(6): 10~15.
- 杜远生,黄 虎,杨江海,等. 2013. 晚古生代-中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评, 59(1): 1~11.
- 何锦汉,王英民. 1983. 桂西三叠系划分与对比[J]. 地层学杂志, 7(2): 135~139.
- 贺自爱. 1986. 黔、桂中三叠世浊流沉积的形成环境[J]. 石油与天然气地质, 7(3): 207~217.
- 洪庆玉,候方浩. 1979. 桂西中三叠统浊积岩的初步研究[J]. 西南石油学院学报, (1): 16~30.
- 黄世坤,宋 雄. 1985. 我国锰矿类型、控矿因素及成因探讨[J]. 地质与勘探, 21(10): 1~7.
- 梁金城,陈懋弘,冯佐海. 2001. 桂西南的两类大型断裂构造与金矿成矿——以凭祥地区为例[J]. 桂林工学院学报, 21(1): 13~19.
- 刘苏桥,陆 刚,白艳萍,等. 2011. 沉积间断面型金矿产出模式及找矿方向——以桂西久隆金矿为例[J]. 桂林理工大学学报, 31(4): 488~494.
- 刘志丽,童金南. 2001. 中国南方中三叠世地层及沉积古地理分异[J]. 沉积学报, 19(3): 327~332.
- 骆华宝. 2002. 我国优质锰矿的勘查方向[J]. 地质与勘探, 38(4): 8~11.
- 吕洪波,章雨旭,夏邦栋,等. 2003. 南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨[J]. 地质论评, 49(5): 449~456.
- 梅冥相,李仲远. 2004. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化[J]. 现代地质, 18(4): 555~563.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1~28.
- 裴秋明,李社宏. 2013. 桂西三叠系百逢组地层中锰矿找矿新发现[J]. 地质论评, 59(增刊): 331~332.
- 秦建华,吴应林. 1989. 黔南桂西中三叠统浊积扇、物源及板块构造[J]. 岩相古地理, (3): 1~17.
- 茹延锵,韦灵敦,树 皋. 1992. 广西锰矿地质[M]. 北京:地质出版社, 1~298.
- 宋 雄. 1989. 中国锰矿形成时代与分布特征[J]. 地质与勘探, 25(5): 3~10.
- 唐云凤,伊海生. 2011. 滇东南地区斗南沉积型锰矿床矿物相变化及沉积模式[J]. 中国地质, 38(2): 451~461.
- 田景春,陈洪德,彭 军,等. 2000. 川滇黔桂地区下、中三叠统层序划分、对比及层序地层格架[J]. 沉积学报, 18(2): 198~204.
- 王永磊,王登红,张长青,等. 2010. 广西德保铜锡矿床辉钨矿^{Re-Os}同位素定年及对加里东期成矿的探讨[J]. 矿床地质, 29(5): 881~889.
- 吴浩若. 2003. 晚古生代-三叠纪南盘江海的构造古地理问题[J]. 古地理学报, 5(1): 63~76.
- 吴 江,李思田. 1992. 广西中三叠统浊流流向及坡向[J]. 广西地质, 5(4): 15~24.
- 肖加飞. 2005. 扬子地块西南缘中元古代-三叠纪沉积盆地演化及地层的元素地球化学背景[D]. 中国科学院研究生院(地球化学研究所), 1~161.
- 萧绪琦,郭立鹤,刘新波. 1997. 太平洋多金属结核中的锰矿物及其相变[J]. 岩石矿物学杂志, 16(4): 80~86.
- 许效松,黄慧琼,刘宝珺,等. 1991. 上扬子地块早震旦世大塘坡期锰矿成因和沉积学[J]. 沉积学报, 9(1): 63~72.
- 薛友智. 2012. 中国锰矿地质特征与勘查评价[J]. 四川地质学报, 32(增刊): 14~19.
- 薛友智,侯宗林. 2006. 中国优质锰矿地质与勘查[J]. 地质找矿论丛, 21(增刊): 1~4.
- 颜代蓉,李建威,胡明安,等. 2006. 广西下雷氧化锰矿床矿石特征及成因分析[J]. 地质科技情报, 25(3): 61~67.
- 杨怀宇. 2010. 湘桂地区泥盆纪-中三叠世构造古地理格局及其演化[D]. 中国石油大学(华东), 2~7.
- 杨遵仪,李子舜,曲立范,等. 1982. 中国的三叠系[J]. 地质学报, (1): 1~21.
- 姚敬劬. 1994. 关于几种常见锰矿物的名称问题[J]. 中国锰业, 12(1): 13~15.
- 曾允孚,刘文均. 1995. 右江盆地演化与层控矿床[J]. 地学前缘, 2(4): 237~240.
- 张成弓. 2010. 黔南-桂中地区二叠纪-中三叠世层序岩相古地理研究[D]. 成都理工大学, 1~70.
- 张继淹. 1986. 桂西中三叠统重力流沉积[J]. 中国区域地质, (2): 125~132.
- 张继淹. 1995. 广西早、中三叠世层序地层[J]. 广西地质, 8(3): 1~10.
- 张继淹. 1997. 广西下、中三叠统砾岩类特征及成因探讨[J]. 广西地质, 10(3): 3~8.
- 张锦泉,蒋廷操. 1994. 右江三叠纪弧后盆地沉积特征及盆地演化[J]. 广西地质, 7(2): 1~14.
- 郑宽兵,邓 军,李 浩,等. 2004. 滇黔桂盆地及其邻区二叠系与三叠系之交的淹没不整合面[J]. 现代地质, 18(4): 564~571.