

doi:10.3799/dqkx.2012.131

武夷山覆盖区马坑式铁矿层位及找矿方向

狄永军^{1,2}, 张达^{1,2}, 吴淦国^{1,2}, 闫鹏程^{1,2}, 来守华^{1,2}, 龚勇^{1,2}

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

摘要:马坑式铁矿床是永梅晚古生代坳陷次一级北东向龙漳基底断裂凹陷带内的大型铁矿床。其赋矿层位并不是很清楚,这影响了找矿工作。在野外地质调查和认真总结前人研究成果的基础上,探讨了马坑式铁矿的控矿因素,认为马坑式矿区的褶皱主体为倒转背斜,而不是背斜的一翼;经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)及其与上覆文笔山组(P_1w)之间的界面才是马坑式铁矿的赋矿层位,而不是林西组(C_1l)与上覆经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)之间的界面;认为逆冲推覆构造也是重要的控矿因素,并指出了找矿方向。燕山期逆冲推覆构造是 Izanagi 板块自南东向北西方向向欧亚板块之下俯冲所产生的结果。

关键词:马坑式铁矿床;倒转背斜;推覆构造;文笔山组;控矿因素;岩石学;成矿预测;矿床。

中图分类号: P612

文章编号: 1000-2383(2012)06-1232-11

收稿日期: 2012-07-19

Strata Hosted Makeng Type Iron Deposits and Prospecting Orientation in the Wuyishan Covered Region

DI Yong-jun^{1,2}, ZHANG Da^{1,2}, WU Gan-guo^{1,2}, YAN Peng-cheng^{1,2}, LAI Shou-hua^{1,2}, GONG Yong^{1,2}

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: Makeng type iron deposit is a large deposit in the secondary NE-trending Longzhang basal fracture sag zone of the Late Paleozoic depression of Yongmei. The prospecting breakthrough has been hindered due to the fact that we are not very clear about the type of the strata hosted Makeng type iron deposits. On the basis of field investigation and conscientious study of the results of previous researches, this paper explores ore-controlling factors of the Makeng type iron deposit. It is found that the fold in the Makeng mine district is an overturned anticline instead of one limb of the anticline, and that the Yanshanian thrust nappe structure is the results generated by the subduction of Izanagi plate under the Eurasian plate from southeast to northwest. It is suggested that the Jingshe Formation-Qixia Formation (C_2j-P_1q) and interface between the Jingshe Formation-Qixia Formation (C_2j-P_1q) and the Wenbianshan Formation (P_1w) are the horizon hosted Makeng type iron deposit, and that the thrust nappe structure is also important ore-controlling factors. In addition, this paper also presents the prospecting direction.

Key words: Makeng type iron deposit; overturned anticline; nappe structure; Wenbianshan Formation; ore-controlling factor; petrology; ore prospecting; ore deposits.

马坑式铁矿床分布于永梅晚古生代坳陷次一级北东向龙漳基底断裂凹陷带,包括马坑、潘田、洛阳、阳山、铁山嶂、尖山和琴山等铁矿床。其中马坑是福建省境内大型铁矿床,铁矿石总储量达4.5亿t左右,其中98%集中分布于中、西2个矿段(姜益丰,

2009)。自20世纪60年代马坑铁矿床被发现以来,其成因一直存在争议,归纳起来主要有4种成因观点:①层控钙矽卡岩铁矿床说:强调矿床产出受构造、地层和岩浆岩三者联合控制;②复合叠生层状矿床说:强调花岗岩化迁移各下伏地层中的铁质叠加

基金项目:地质调查项目“武夷山植被覆盖区成矿地质背景研究与成矿要素综合推断”(No. 1212011085472);地质调查项目“武夷山成矿带中生代推覆构造与铜多金属找矿方向研究”(No. 1212010813064);地质调查项目“武夷山成矿带铜多金属成矿规律研究”(No. 1212010533105)。

作者简介:狄永军(1965—),男,副教授,博士,岩石学专业,主要从事岩浆作用与成矿方面的研究及教学工作。E-mail: diyongjun@cugb.edu.cn

于沉积—火山沉积贫矿层之上而成矿,提出构造、地层、岩体、热液四位一体的控矿条件;③陆源沉积—热液改造说:强调铁质来源主要是陆源沉积,具明显的层控特征,并强调了补偿断陷盆地对铁矿床的控制;④海相火山沉积—热液改造说:强调铁质来源于晚石炭世海相火山活动及古构造、超壳断裂对火山活动及沉积成矿的作用(福建省地质八队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1982)。笔者于2011年夏季对马坑式铁矿进行了野外调查,从调查的情况来看,马坑式铁矿的层控特征并不简单,层序也不清楚,这制约了马坑式铁矿的找矿工作。例如,前人认为马坑铁矿区主矿体呈似层状赋存于上石炭统经畲组(C_{2j})地层中,而大田地区甲魁矿区铁矿层就赋存在煤系地层之下,令人困惑不解的是马坑式铁矿主矿体之下是一套绢英岩化蚀变岩,龙岩马坑矿区如此,大田县琴山铁矿区如此,为什么会是这样?笔者在野外调查和总结前人研究成果的基础上,结合室内研究成果对马坑式铁矿的

控矿层位进行了初步探讨,希望能为马坑式铁矿的勘查提供有益的思路和找矿方向。

1 地质概况

马坑铁矿区位于永梅晚古生代坳陷东部次一级龙漳复向斜南部,政和一大埔大断裂北西侧。区内主要构造线为北东、北北东和南北方向,表现为各向褶皱和断裂十分发育(图1),此外尚有北西和近东西向的断裂。

1.1 矿区地层

矿区内主要发育上古生代地层,呈北东—南西向分布,倾向北西(图2)。从老到新依次为林地组(C_1l)、经畲组—栖霞组($C_{2j}-P_1q$)、文笔山组(P_1w)和童子岩组(P_1t),前人认为其组成了马坑背斜北西翼。在矿区东北部出露少量奥陶系罗峰溪组(O-S)地层。闽西南地区的铁矿床均与林地组(C_1l)、经畲组—栖霞组($C_{2j}-P_1q$)和文笔山组

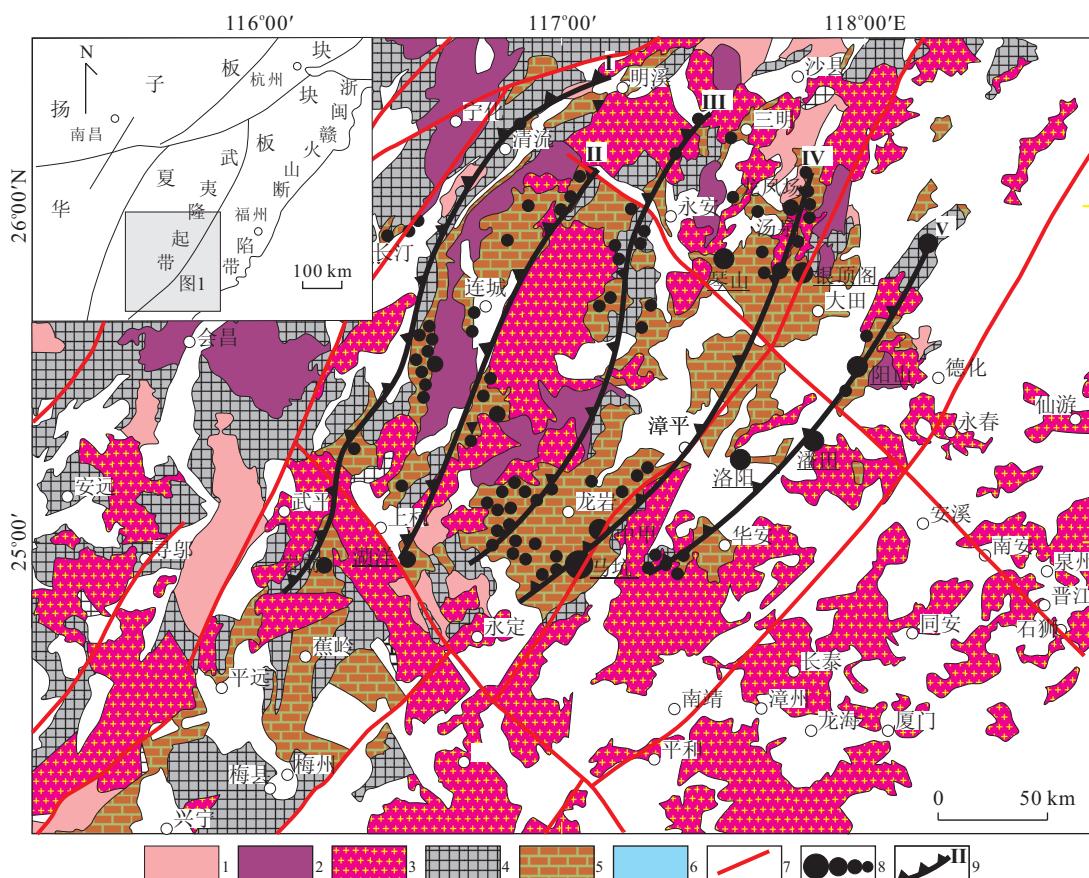


图1 闽西南地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of southwestern Fujian Province

1.前泥盆纪侵入岩;2.海西一印支期侵入岩;3.燕山期侵入岩;4.基底岩系;5.盖层岩系;6.燕山期火山岩系;7.主干断层;8.大中小型铁矿床及矿化点;9.推覆构造带及编号

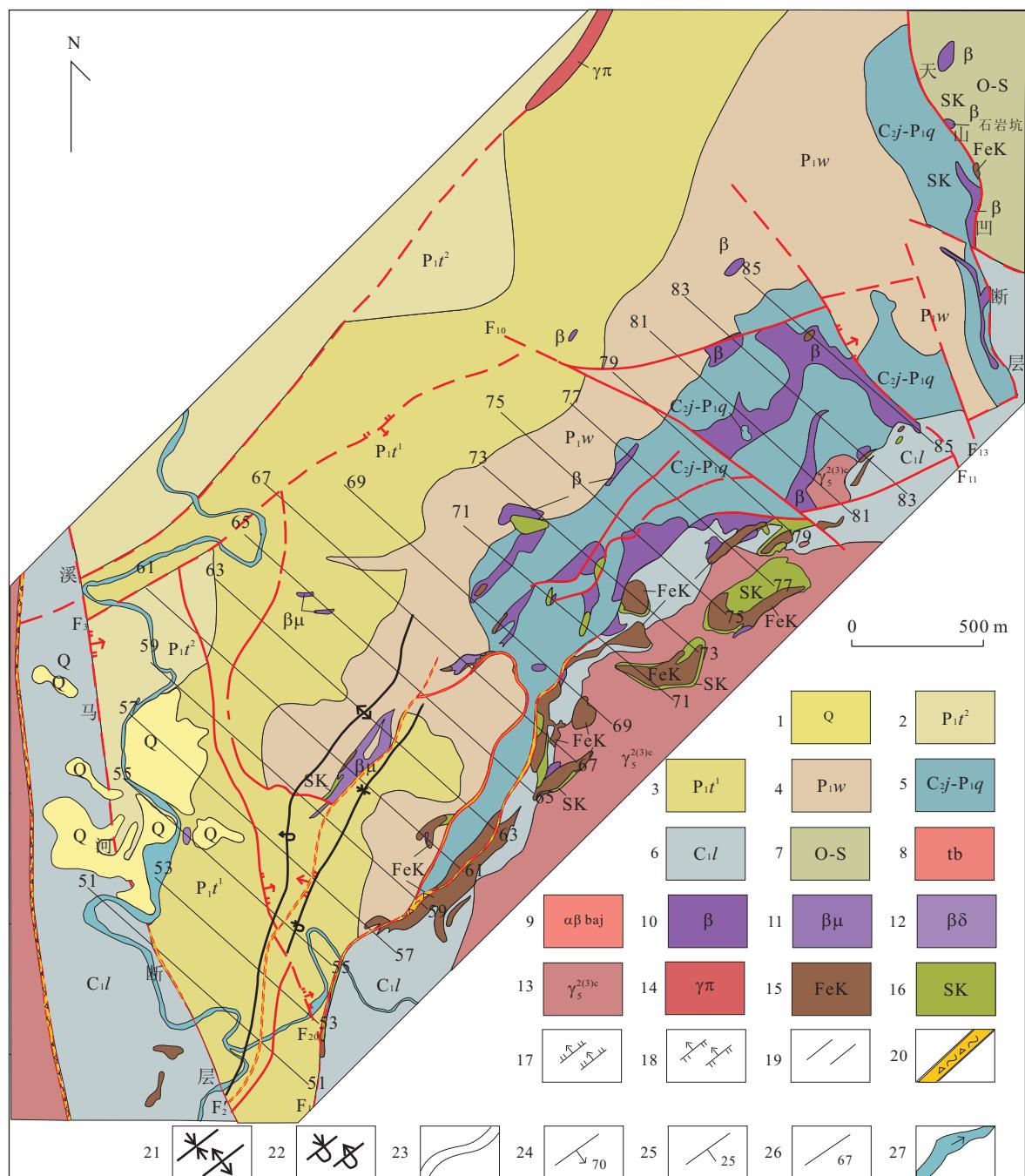


图 2 马坑矿区地质图(据福建省地质八队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1982)

Fig. 2 Geological map of Makeng mine district

- 1.第四系;2.二叠系下统童子岩组第二段;3.二叠系童子岩组第一段;4.二叠系下统文笔山组;5.石炭系上统经畲组一二叠系下统栖霞组;6.石炭系下统林地组;7.奥陶系罗峰溪组;8.熔结凝灰角砾岩(?);9.辉绿玢岩;10.辉绿岩类;11.辉长辉绿岩;12.辉绿闪长岩;13.燕山期黑云母花岗岩;14.花岗斑岩;15.褐铁矿;16.砂卡岩;17.实测、推测正断层;18.实测、推测逆断层;19.实测、推测性质不明断层;20.断层破碎带;21.向斜轴、背斜轴;22.倒转向斜轴、倒转背斜轴;23.实测、推测地质界线;24.断层产状及倾向;25.岩层产状及倾角;26.勘探线及编号;27.河流;F₁~F₁₃为断层编号

(P₁w)这 4 套地层有关。

据福建省地质八队(1982)和闽西地质大队(福建省地质矿产局闽西地质大队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1986)的

成果,将马坑铁矿区与成矿有关的 5 套地层自下而上总结如下:

(1)林地组(C₁l).下部砂岩、砂质泥岩、泥岩互层,夹流纹质凝灰质砂质泥岩 3~4 层。中部泥岩、粉

砂质泥岩,硅质泥岩,局部夹灰岩,萤石岩及铁质泥岩薄层、透镜状铁矿,后者经改造成磁铁矿矽卡岩、磁铁矿小矿体。上部以砂砾岩、含砾砂岩、砂岩互层,夹泥岩,局部夹流纹质、凝灰质砂质泥岩2~3层。偶夹透镜状磁铁矿。顶部主矿体底板常见黑云石英岩,变质砂质泥岩、石英岩化砂岩,流纹质、凝灰质砂质泥岩、安山质熔结凝灰角砾岩。

(2) 经畲组(C_2j)。下段石英型磁铁矿;以石英铁矿为主,上部夹石英绿泥石磁铁矿,底部为磁铁黑云石英岩、黑云石英岩局部见安山质角砾熔岩及英安质凝灰熔岩,与下伏为假整合。中段透闪石型磁铁矿夹砂质泥岩、含砂质泥岩,局部出现凝灰质砂质泥岩。不稳定,沿走向、倾向常尖灭。近底部见1层玄武岩(?),厚度<12.23 m。上段自下而上可以分为透辉石型磁铁矿、石榴石型磁铁矿和主矿体顶板3部分。透辉石型磁铁矿:以透辉石磁铁矿为主,顶部为铁质泥质岩,经改造成为磁铁矿符山石石榴石矽卡岩;上部原矿石已呈透辉石石榴石磁铁矿出现;中部为透辉石磁铁矿;下部变为粒硅石、透闪石、金云母磁铁矿,中部往往可见1层安山玄武岩(?),厚度分别小于5.10 m与15.88 m。石榴石型磁铁矿:主要为透辉石石榴石磁铁矿。上部往往见符山石透辉石石榴石磁铁矿(含萤石);顶部局部地段见1层安山玄武岩,厚度0.20~4.20 m。主矿顶板:钙质细碎屑岩及矽卡岩、大理岩等。

(3) 船山组(C_2c)。以灰色厚层状灰岩为主,夹含燧石生物灰岩及1~4层硅质白云岩、白云质泥岩薄层状铁矿、透镜状铁矿,后者经改造变成磁铁矿小矿体及矽卡岩。泥岩局部相变为粉砂岩。见Triticites(麦粒蜓)等化石。厚度165 m。

(4) 栖霞组(P_1q)。下段以深灰色中厚层状含泥质生物灰岩为主,中上部夹燧石泥质生物灰岩层及黑色泥岩薄层,底部见薄层状、透镜状磁铁矿小矿体。产Parafusulina sp(拟纺锤蜓)等化石。上段浅灰色厚层状含燧石灰岩为主,夹含生物燧石灰岩。顶部为硅质岩、硅质灰岩及铁质岩薄层,常见石榴石透辉石矽卡岩化,见磁铁矿小矿体。含Cancellina sp(格子蜓)等化石。

(5) 文笔山组(P_1w)。下段以黑色中厚层状泥岩为主,夹砂质泥岩。底部偶夹1层凝灰质泥岩、流纹质凝灰质砂质泥岩及霏细岩。上段以灰黑色中厚层状砂质泥岩为主。下部常相变为细砂岩或粉砂岩。上部普遍夹薄层粉砂岩。

1.2 矿区构造

矿区东、西、南3面分别以内降外升的天山凹断

层、溪马河断层和 F_1 断层为边界。 F_1 和溪马河边界断层、次级背/向斜褶皱转折端附近的北东向 F_2 (F'_2)高角度逆断层、北西部附近之北东东向 F_3 断层、西部近南北向 F_{20} 断层,以及发育于中矿段的 F_4 、 F_{10} 等断层(图2)为矿区的主要断层,它们均表现为破矿构造(姜益丰,2009)。

1.3 矿区岩浆岩

燕山早期菖舟一大洋花岗岩体,分布于矿区的东南和西部边界之外,矿区正位于2个岩体之间的下凹处。分布较为广泛的辉长辉绿岩和辉绿闪长岩脉,穿插于主矿体、各时代地层及花岗岩岩体中。赵一鸣等(1983)将该区的辉绿岩类分为3种岩石类型:辉长辉绿岩、辉绿闪长岩和辉绿玢岩。在大洋岩体的采石场可以见到4期岩浆侵入活动:第1期侵入为肉红色粗粒花岗岩;第2期侵入为浅肉红色细粒正长花岗岩侵入肉红色粗粒花岗岩之中(外围也见有这种现象),肉红色粗粒花岗岩位于西边及顶部,浅肉红色细粒正长花岗岩边部有肉红色粗粒花岗岩的捕虏体;第3期侵入为浅灰色细粒花岗岩可能侵入浅肉红色细粒正长花岗岩,宏观上浅灰色细粒花岗岩将浅肉红色细粒正长花岗岩顶起;第4期侵入为辉绿岩侵入粗粒花岗岩和浅肉红色细粒正长花岗岩。毛建仁等(2006)报道了菖舟岩体中细粒花岗岩的单颗粒锆石U-Pb年龄为136.0~133.9 Ma,黑云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为132.3 Ma。辉绿岩类为多期侵入,在马坑、挂山、洛阳、阳山和五更寮等矿区,侵入不同时代地层(林地组—南园组)中。在矿床勘探和开采过程中也发现了大量的辉绿岩脉,从矿体的顶板灰岩到底板石英砂岩中均有分布。在野外和井下的观察既见到辉绿岩切割矽卡岩,也见到矽卡岩充填交代或侵入辉绿岩(或闪长岩)的现象。辉绿岩类在侵入时间上不同,有辉绿闪长岩穿插辉长辉绿岩的现象,在辉绿闪长岩一侧具明显的冷凝边,辉绿闪长岩侵入应晚于辉长辉绿岩(福建省地质八队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1982)。

2 赋矿层位分析

2.1 马坑式铁矿赋存层位

前人认为马坑铁矿区主矿体呈连续单一的层状、似层状赋存于上石炭统经畲组(C_2j)地层。主矿体产状与地层产状一致,并与地层一起同步褶皱,走向北东的不对称背/向斜褶皱,沿走向具波状起伏,

并有向南西倾伏的趋势。主矿体厚度沿走向、倾向上均有所变化,矿段的中心厚、两侧薄;背斜厚、向斜薄, F_2 断层上盘厚,下盘薄(姜益丰,2009)。马坑式铁矿层控特征明显,马坑、潘田和洛阳等大中型铁矿受上石炭统经畲组(C_{2j})—栖霞组(P_{1q})碳酸盐岩层位控制(李希敏等,1980;骆金锭和鄢庆南,1980;邹天人等,1981;福建省地质八队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1982;赵一鸣等,1983;陈述荣等,1985;高联达等,1985;陈跃升,2002,2010;刘武刚和陈友智,2006;姜益丰,2007,2009)。

中侏罗世以来东亚岩石圈大规模的板块运动造成了中国大陆及周缘产生强烈的构造变形(董树文等,2008)。华南大陆岩石圈总体上处于持续挤压状态,产生大规模NE—NNE向褶皱及逆冲推覆构造。扬子板块东南缘、武夷山隆起带、闽西南坳陷等

东南沿海地区也都受到了强烈的构造变形改造,使不同时代的地层发生异位、层序倒置以及重复或缺失,导致地层层序不清。

区域上林地组(C_{1l})主要为一套石英砂岩、石英砂砾岩,夹粉砂岩、泥岩,局部夹碳质页岩及煤线。但从前述马坑矿区地层可以看出,林地组(C_{1l})顶部主矿体底板常见黑云石英岩,变质砂质泥岩、石英岩化砂岩,流纹质、凝灰质砂质泥岩、安山质熔结凝灰角砾岩,与林地组(C_{1l})地层岩性无法对比,却可以与文笔山组(P_{1w})底部凝灰质泥岩、流纹质凝灰质砂质泥岩及霏细岩对比;主矿体下段的石英型磁铁矿可以与栖霞组(P_{1q})顶部的硅质岩、硅质灰岩及铁质岩进行对比,两者可能均为成矿时形成的硅化蚀变岩;主矿体可以与经畲组—栖霞组(C_{2j} - P_{1q})与文笔山组(P_{1w})界面之间赋存的矽卡岩和小矿体对比(图3)。

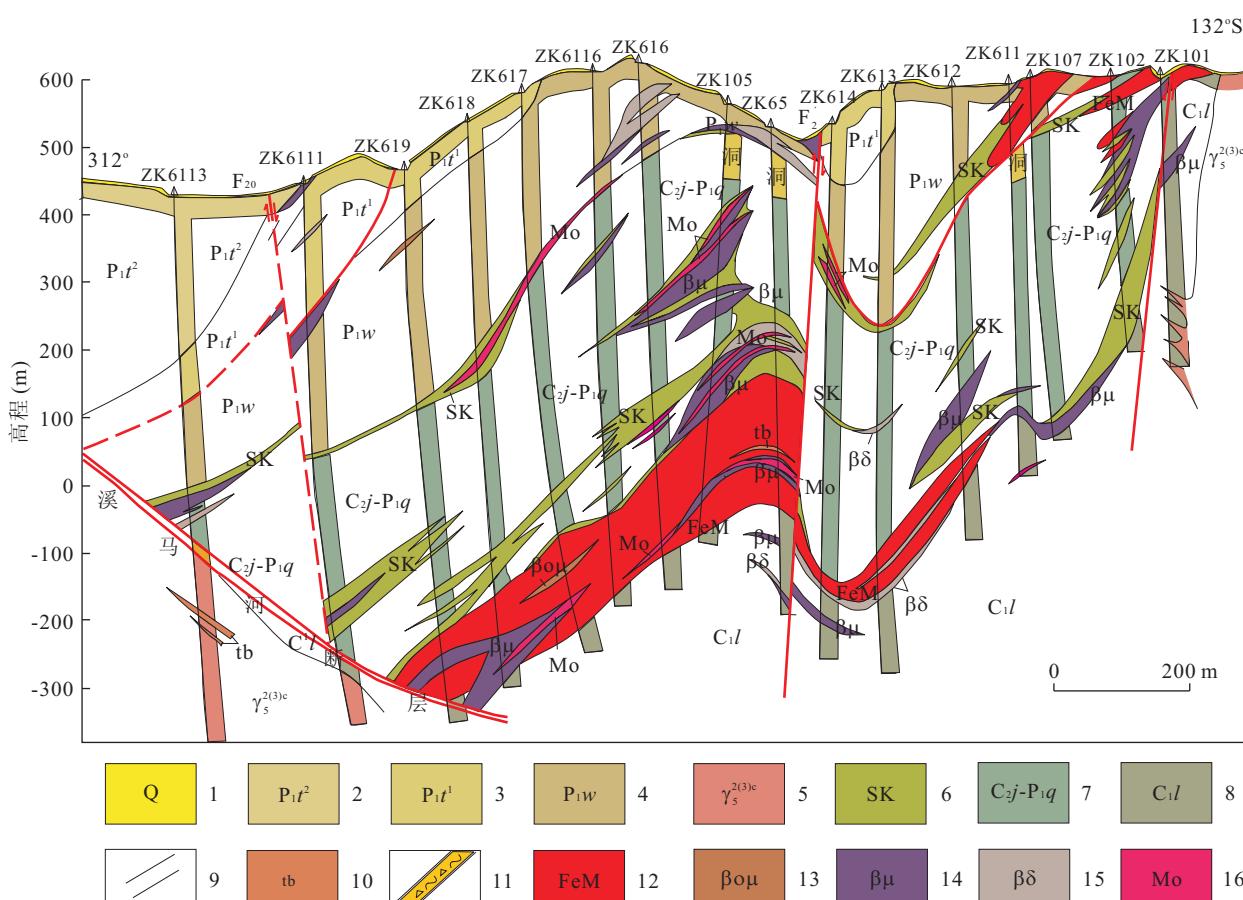


图3 马坑矿区61勘探线地质剖面图(福建省地质八队,福建省龙岩市马坑铁矿床地质特征及成矿地质条件研究报告,1982)

Fig. 3 No. 61 prospecting line geological cross section of Makeng mine district

1.第四系;2.二叠系下统童子岩组第二段;3.二叠系童子岩组第一段;4.二叠系下统文笔山组;5.燕山期黑云母花岗岩;6.矽卡岩;7.石炭系上统经畲组—二叠系下统栖霞组;8.石炭系下统林地组;9.实测、推测性质不明断层;10.熔结凝灰角砾岩(?);11.断层破碎带;12.磁铁矿;13.辉绿玢岩;14.辉长辉绿岩;15.辉绿闪长岩;16.辉钼矿脉

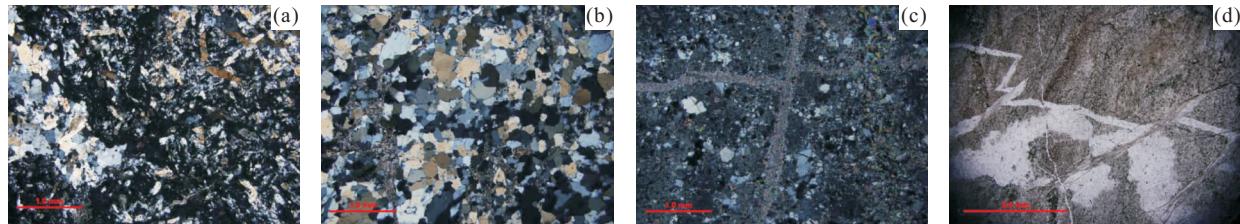


图4 马坑矿区矿体下盘由近及远的蚀变分带

Fig. 4 Alteration zoning for the footwall of orebody from proximity to distance
200 m 中段 214 穿脉矿体下盘由近及远蚀变分带为硅化→绢英岩化→硅化砂质泥岩(a→d)



图5 褐铁矿化矽卡岩(a)和褐铁矿化石榴石矽卡岩(b)的逆冲

Fig. 5 The thrust of limonitized skarn and limonitized garnet skarn

马坑矿区 200 m 中段 214 穿脉矿体下盘由近及远蚀变分带为硅化蚀变岩→绢英岩→硅化砂质泥岩(图4).如果是林地组地层,其原岩主要为石英砂砾岩和石英砂岩,只夹有薄层泥岩,不可能形成大规模的绢英岩,只有文笔山组(P_1w)的泥质岩石才有可能形成大规模的绢英岩,且符合靠近矿体硅化强烈,远离矿体硅化弱的特点.因此,笔者认为马坑矿区主矿体下盘为文笔山组(P_1w)地层,而不是林西组(C_1l)地层.经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)及其与上覆文笔山组(P_1w)之间的界面才是马坑铁矿的赋矿层位,而不是林地组(C_1l)与上覆经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)之间的界面.阳山铁矿区主矿体也是赋存于经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)及其与上覆文笔山组(P_1w)之间的界面之中.

2.2 推覆构造对马坑式铁矿的控制

武夷山地区推覆构造发育(王尔康等,1985;陶建华,1987,2008;关玉祥等,1989;关玉祥和杨添水,1994;陶建华和陈福龙,2006;周珍琦,2006),存在多个推覆或滑脱构造界面,不仅形成大范围分布的良好导矿或容矿空间,而且推覆体为矿床的保存起到了保护作用.闽西南地区与中生代推覆构造有关的界面主要有4个:前泥盆纪基底地层与中上泥盆统及下石炭统之间(AnD/C_1l)、中上泥盆统及下石炭统与中上石炭统及下二叠统栖霞组之间(C_1l/C_2+P_1q)、下二叠统栖霞组与其以上地层之间(P_1q/P_1t^1)、下二叠统童子岩组上下段之间(P_1t^1/P_1t^3)、童子岩组与上二叠统及三叠系地层之间都是推覆构造发生的初始界面(P_1t/P_2+T_{1-2}).在这些构造界面中,区域上较稳定存在的有 AnD/C_1l 、 C_1l/C_2+P_1q 之间的界面.初步分析闽西南一带推覆构造可能存在多个时期: T_2 、 J_2 、 J_3-K_1 及 K_2 后,对 T_2 、 J_2 的逆冲推覆作用学者研究较多,而对 J_3-K_1 及 K_2 后的逆冲推覆作用则研究较少.逆冲推覆作用造成了晚古生代地层的褶皱及逆冲断层的发育.与灰岩地层有关的平卧或斜卧褶皱及伴随的逆冲断层控矿

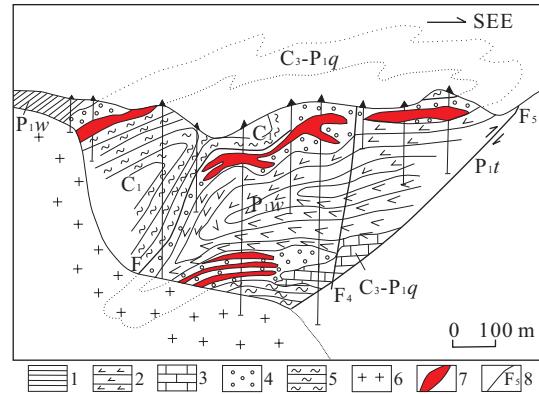


图6 阳山东矿区 34 线地质剖面图(赵一鸣等, 1983)

Fig. 6 No. 61 prospecting line geological cross section of eastern Yangshan mine district

1. 板岩;
2. 角岩;
3. 大理岩;
4. 砂卡岩;
5. 片理化变质粉砂岩;
6. 花岗岩;
7. 磁铁矿体;
8. 断层

$P_1w+P_1t^1$ 、下二叠统童子岩组上下段之间(P_1t^1/P_1t^3)、童子岩组与上二叠统及三叠系地层之间都是推覆构造发生的初始界面(P_1t/P_2+T_{1-2}).在这些构造界面中,区域上较稳定存在的有 AnD/C_1l 、 C_1l/C_2+P_1q 之间的界面.初步分析闽西南一带推覆构造可能存在多个时期: T_2 、 J_2 、 J_3-K_1 及 K_2 后,对 T_2 、 J_2 的逆冲推覆作用学者研究较多,而对 J_3-K_1 及 K_2 后的逆冲推覆作用则研究较少.逆冲推覆作用造成了晚古生代地层的褶皱及逆冲断层的发育.与灰岩地层有关的平卧或斜卧褶皱及伴随的逆冲断层控矿

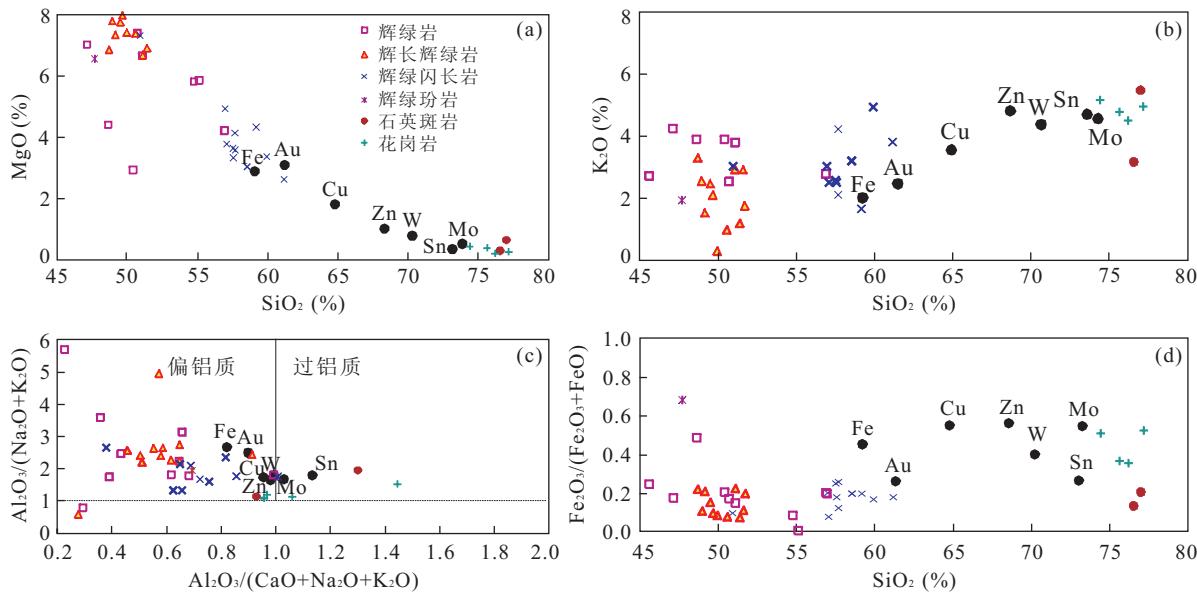


图 7 马坑矿区与矽卡岩有关的侵入体成矿种类判别图(图式据 Meinert *et al.*, 2005, 数据据赵一鸣等, 1983)

Fig. 7 Mineralization discrimination diagram of intrusions associated with skarn in making mine district

特征明显。

在马坑矿区可以观察到褐铁矿化矽卡岩逆冲于莒州岩体细粒花岗岩之上, 接触面倾向北西(图 5a), 向南东翻过山后, 见到褐铁矿化石榴石矽卡岩逆冲于粗粒花岗岩之上, 粗粒花岗岩已破碎, 两者呈断层接触, 断层面明显, 断层产状较陡, 断层总体倾向西(图 5b), 图 5c 为图 5b 的局部放大, 从中可以更清楚地看出褐铁矿化石榴石矽卡岩与粗粒花岗岩呈断层接触, 且断层切割了破碎的粗粒花岗岩, 表明该断层具多期活动的特点。在矿区地质图上(图 2), 莒州岩体之上见多处褐铁矿化石榴石矽卡岩块体, 从野外观察的实际情况来看, 它们与岩体是断层接触, 而不是侵入接触关系, 是在矽卡岩和铁矿形成之后被逆冲推覆于燕山期岩体之上, 与推覆构造的方向由 NW→SE 推覆一致, 铁矿成矿应早于粗粒花岗岩。马坑矿区背斜的形成也应该与逆冲推覆构造事件紧密相关, 并且该背斜在进一步推覆作用过程中形成了次级背、向斜。

区域上马坑式铁矿受逆冲推覆构造控制的特征也很明显, 是受同一地球动力学背景控制的结果。阳山东矿区 34 线勘探线剖面显示, 灰岩地层受轴面近水平的褶皱及伴随的逆冲断层的影响, 磁铁矿体与矽卡岩也被褶皱, 显示矽卡岩和磁铁矿可能形成较早(图 6)。大田建爱电灌站多金属矿区剖面图显示矿体赋存于倒转背斜南东翼林地组(C_1l)与灰岩地层之间的层间破碎带, 并逆冲推覆于文笔山组

(P_1w)之上, 北西翼地层及矿体已经被剥蚀。潘田铁矿区铁矿体也赋存于倒转背斜的南南西翼, 并逆冲推覆于燕山期花岗岩体之上。

2.3 岩浆岩与马坑式铁矿

与矽卡岩有关的侵入体成矿种类判别图解表明, 马坑矿区辉绿闪长岩与铁矿床的关系密切, 辉长辉绿岩和大洋、莒州岩体花岗岩可能起了叠加改造作用(图 7), 这是因为花岗岩岩浆本身含铁很低, 提供不了大规模铁矿的成矿物质, 而中基性岩浆由于含铁较高, 可以作为铁矿的成矿母岩。永梅坳陷内粤东北霞嵒一带分布有含铁矿辉长—辉绿辉长岩—普通辉石闪长岩杂岩体, 夹有多层铁矿(边效曾和高天钧, 1982)。该岩体辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 195 ± 1 Ma(余心起等, 2009), 这是中国东南部存在与铁矿直接有关的早侏罗世岩浆活动的证据。闽西南铁矿区是否存在该期岩浆活动, 有待进一步研究。福建省地质八队(1982)根据“辉绿岩类”中常见矽卡岩化现象, 认为矽卡岩化是花岗岩岩浆期后热液所生成, 推测“辉绿岩类”侵入时间早于花岗岩。关于铁矿的成因, 限于篇幅本文不再展开讨论。

野外可以观察到辉钼矿细脉充填于铁矿石的裂隙中。张承帅等(2012a, 2012b)获得马坑铁矿区辉钼矿 Re-Os 年龄为 $130 \sim 133$ Ma, 大洋花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 132.6 ± 1.3 Ma, 莒州花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 129.6 ± 0.8 Ma, 说明辉钼矿的成矿与大洋、莒州花岗岩岩

体的侵入有关。钻孔剖面揭示该岩体在深部切割了含矽卡岩和铁矿体，显示辉钼矿与铁矿并不是同一成矿期形成的。从区域上花岗岩岩体分布与马坑式铁矿的特征来看，花岗岩的侵入对马坑式铁矿可能起到了破坏作用，而不是叠加作用，这一点在洛阳铁矿区表现得相当明显。

3 讨论

矿山勘查及开采过程证实主矿体自下而上依次为石英型磁铁矿、透闪石型磁铁矿、透辉石型磁铁矿和石榴石型磁铁矿石(图8)(邢文臣等,1982;陈跃升,2002,2010)。石榴石形成温度大于550℃,透辉石形成温度大于400℃,绿帘石和角闪石形成温度小于400℃。如果是岩体与碳酸盐岩的接触带,石榴石矽卡岩带应该靠近岩体,而透辉石矽卡岩带远离岩体。因此马式坑铁矿床的上述分带是一个反序分带。究竟是什么原因造成的?是辉绿岩的侵入导致向上温度和氧逸度升高引起的,还是地层发生倒转引起的?基于前面的分析,笔者认为马坑矿区的褶皱主体应该为一倒转背斜,在进一步推覆过程中叠加了次级褶皱,这种倒转背斜的特征在61勘探线剖面上非常明显(图3),是在矽卡岩和铁矿形成之后被逆冲推覆并发生倒转的。倒转背斜核部地层为经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层,北西翼由二叠系下统文笔山组(P_1w)和童子岩组(P_1t)地层组成(图3),相应地马坑矿区主矿体之下的林地组(C_1l)应该为文笔山组(P_1w)(证据见前述图4),为倒转背斜的南东翼,只不过南东翼的童子岩组(P_1t)地层由于逆冲推覆作用缺失了,矿体下盘实为矿体上盘,这样就可以解释马坑矿区矽卡岩反序分带及主矿体之下存在绢英岩化蚀变岩的现象。此过程可以作如下推测:经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层与文笔山组(P_1w)泥质岩地层之间岩性分界面在构造作用下容易形成容矿空间,岩浆及岩浆热液沿着此界面充填并交代,形成矽卡岩及铁矿层,文笔山组(P_1w)泥质岩石原来在矽卡岩及铁矿体之上,被交代形成绢英岩化蚀变岩,由于逆冲推覆作用发生褶皱并倒转。那么马坑矿区的主矿体其实并不是赋存于林地组(C_1l)地层与经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层界面附近,而是赋存于经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层与文笔山组(P_1w)地层界面附近。逆冲断层也易沿该界面发育,马坑铁矿区倒转背斜南东翼褐铁矿化矽卡岩在某些地方也表现为逆冲于文笔山组

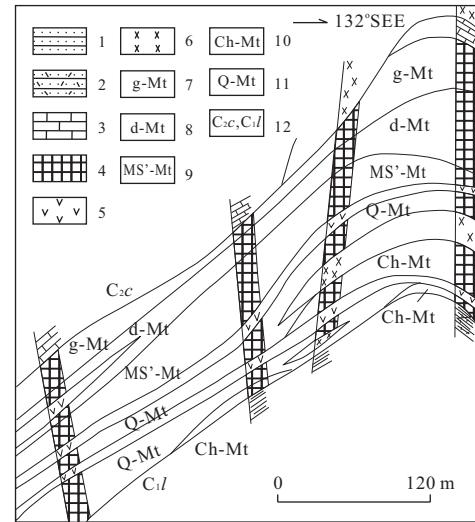


图8 马坑矿区61线主矿体矿石自然类型分带(据邢文臣等,1982)

Fig. 8 Ore natural type zoning of main orebody on No. 61 prospecting line of Makeng mine district

1. 砂岩;2. 凝灰质(粉砂岩);3. 灰岩(大理岩);4. 铁矿;5. 安山岩(?)6. 辉绿岩;7. 石榴石磁铁矿;8. 透辉石磁铁矿;9. 红云母磁铁矿(含矿凝灰岩);10. 绿泥石磁铁矿(含矿凝灰岩);11. 石英磁铁矿;12. 上石炭统船山组(C_2c)、下石炭统林地组(C_1l)



图9 马坑矿区矽卡岩(C_2j-P_1q)与文笔山组(P_1w)之间的接触关系

Fig. 9 Contact relationship between skarn (C_2j-P_1q) and the Wenbianshan Formation (P_1w) in Makeng mine district

(P_1w)地层之上,形成光滑的断层面(图9),断层面倾向西。马坑矿区的主矿体被溪马河断层断掉的部分应该在逆冲推覆方向的相反方向去探寻。大田县琴山铁矿区是近年来发现的具有良好前景的铁矿区,矿区推覆构造发育,在采场看到矿体下盘的绢英岩已强烈片理化,矿区地质图上标为林地组(C_1l),经镜下鉴定为糜棱岩化绢英岩。因此大田琴山铁矿区也是一倒转背斜,核部由林地组(C_1l)地层组成,

被燕山期花岗岩侵入,南东翼由经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层和矿体组成,并逆冲推覆于已经绢英岩化的文笔山组(P_1w)地层之上,北西翼缺失经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层,但在文笔山组(P_1w)底部的逆冲断层内仍有铁矿体存在。大田地区部分铁矿区倒转背斜北西翼地层已经被剥蚀,出露的是南东翼的褐铁矿化矽卡岩,是铁矿形成之后与地层一起受推覆作用形成斜卧或平卧倒转背斜的结果。果真如此,在闽西南地区今后找铁矿的方向就应该有所调整,除了注重燕山期岩体附近碳酸盐岩层位及其与文笔山组(P_1w)、林地组(C_1l)之间的界面找矿外,更应注意闽西南地区推覆构造发育这一重要事实,注意推覆构造之下及与之相关的倒转背斜东南翼经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)灰岩地层与文笔山组(P_1w)泥质岩地层之间岩性分界面找矿。在分析问题时始终牢记中国东南部发育推覆构造这一事实,这是燕山期 Izanagi 板块自南东向北西方向向欧亚板块之下俯冲所产生的结果。

4 结论

(1) 马坑矿区的褶皱主体为一倒转背斜,而不是背斜的一翼。(2) 经畲组—栖霞组(C_2j-P_1q)及其与文笔山组(P_1w)之间的界面才是马坑式铁矿重要的赋矿层位。(3) 该区的燕山期逆冲推覆构造也是重要的控矿因素,其是 Izanagi 板块自南东向北西方向向欧亚板块之下俯冲所产生的结果。

References

- Bian, X. Z., Gao, T. J., 1982. Discussion on the assembledges of metallogenic types of iron ore deposits in the Yongmei depression and problems on exploring. *Geology of Fujian*, (2): 53—68 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. R., Xie, J. H., Xu, C. N., et al., 1985. The origin of Makeng iron deposit, Fujian. *Geochimica*, (4): 350—357 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. S., 2002. New knowledge of the information cause of ore deposit during the exploitation process of Makeng iron mine. *Metal Mine*, (11): 50—52 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. S., 2010. New understanding of ore-control structure feature of Fujian Makeng iron mine. *Metal Mine*, (2): 96—99 (in Chinese with English abstract).
- Dong, S. W., Zhang, Y. Q., Chen, X. H., et al., 2008. The formation and deformational characteristics of East Asia multi-direction convergent tectonic system in Late Jurassic. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(3): 306—317 (in Chinese with English abstract).
- Gao, L. D., Zhu, X. F., Wang, S. T., 1985. The Late Paleozoic rocks in southwestern Fujian and the ore-controlling horizons of the Makeng-type iron-ore deposits. *Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences*, 12: 21—32 (in Chinese with English abstract).
- Guan, Y. X., Huang, Y. M., Tao, J. H., 1989. A preliminary discussion on nappe structure in Fujian. *Geology of Fujian*, 8(1): 14—34 (in Chinese with English abstract).
- Guan, Y. X., Yang, T. S., 1994. Nappe structure research of Fujian Province and its significance. *Geology of Fujian*, 13(4): 248—277 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. F., 2007. Preliminary discussion on the genesis for middle ore block of Makeng iron deposit. *Express Information of Mining Industry*, (7): 69—77 (in Chinese).
- Jiang, Y. F., 2009. Analysis of ore-forming geological features of Makeng iron deposit. *Morden Mining*, (8): 89—91 (in Chinese).
- Li, X. M., Wu, Q., Wu, X. L., et al., 1980. A preliminary discussion on the ore-bearing horizons of the Makeng-type iron-ore deposits in Fujian Province. *Journal of Stratigraphy*, 4(1): 60—63 (in Chinese).
- Liu, W. G., Chen, Y. Z., 2006. The Geological feature and genesis for middle ore block of Makeng iron deposit. *Non-ferrous metals (Mine Section)*, 58(2): 14—16 (in Chinese).
- Luo, J. D., Yan, Q. N., 1980. On the horizon and the age of main seam of Makeng type iron deposits in southwestern Fujian. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 331—339 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. R., Chen, R., Li, J. Y., et al., 2006. Geochronology and geochemical characteristics of Late Mesozoic granitic rocks from southeastern Fujian and their tectonic evolution. *Acta Petrollogica Sinica*, 22(6): 1723—1734 (in Chinese with English abstract).
- Meinert, L. D., Dipple, G. M., Nicolescu, S., 2005. World skarn deposits. Society of Economic Geologists, Inc., *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 299—336.
- No. 8 Geological Team, Fujian Bureau of Geology, 1982. The geological features of the Makeng (Longyan, Fujian Province) iron ore deposit and the discussion on its ori-

- gin. *Geology of Fujian*, (1): 2—31 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H., 1987. An overthrust tectonic in southwest Fujian and its mechanism of formation. *Geology of Fujian*, 6 (4): 249—270 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H., 2008. On nappe structures and the ore-finding breakthrough in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 27 (2): 105—124 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H., Chen, F. L., 2006. Nappe structure in Fujian Province. *Petroleum Geology & Experiment*, 28 (3): 259—285 (in Chinese with English abstract).
- Wang, E. K., Ouyang, Z. H., Liu, C., 1985. Discovery of an overthrust block group in Datian County, Fujian Province, and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, (3): 203—205 (in Chinese).
- Xing, W. C., Wang, W. B., Ji, S. X., et al., 1982. Genesis of iron deposits of Makeng type ore structure evidence. *Bull. Nanjing Inst. Geo. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci.*, 3(2): 52—63 (in Chinese with English abstract).
- Yu, X. Q., Di, Y. J., Wu, G. G., et al., 2009. The Early Jurassic magmatism in northern Guangdong Province, southeastern China: constraints from SHRIMP zircon U-Pb dating of Xialan complex. *Science in China (Ser. D)*, 39(6): 681—693 (in Chinese).
- Zhang, C. S., Mao, J. W., Xie, G. Q., et al., 2012a. Geology and molybdenite Re-Os ages of Makeng skarn-type Fe-Mo deposit in Fujian Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42 (Suppl.): 224—236 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. S., Su, H. M., Yu, M., et al., 2012b. Zircon U-Pb age and Nd-Sr-Pb isotopic characteristics of Dayang-Juzhou granite in Longyan, Fujian Province and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (1): 225—242 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. M., Tan, H. J., Xu, Z. N., et al., 1983. The calcic-skarn iron ore deposits of Makeng type in southwestern Fujian. *Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences*, (1): 1—141 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Z. Q., 2006. Characteristics of nappe structure in the southwest Fujian Province. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(1): 38—41 (in Chinese with English abstract).
- Zou, T. R., Ge, C. H., Han, F., et al., 1981. On the mineralagenetic characteristics of the Makeng iron deposits and their conditions of formation. *Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences*, 2(1): 1—24 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 边效曾,高天钧,1982.“永梅坳陷”铁矿成矿类型系群的探讨与找矿.福建地质,(2):53—68.
- 陈述荣,谢家亨,许超南,等,1985.福建龙岩马坑铁矿床成因的探讨.地球化学,(4):350—357.
- 陈跃升,2002.马坑铁矿开发过程中对矿床成因的新认识.金属矿山,(11):50—52.
- 陈跃升,2010.对福建马坑铁矿床控矿构造特征的新认识.金属矿山,(2):96—99.
- 董树文,张岳桥,陈宣华,等,2008.晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征.地球学报,29 (3): 306—317.
- 福建省地质八队,1982.福建龙岩马坑铁矿矿床地质特征及其成因探讨.福建地质,(1): 2—31.
- 高联达,朱秀芳,王士涛,1985.闽西南晚古生代地层及马坑式铁矿床控矿层位的探讨.中国地质科学院地质研究所所刊,12:21—32.
- 关玉祥,黄耀明,陶建华,1989.初论福建推覆构造.福建地质,8(1): 14—34.
- 关玉祥,杨添水,1994.福建省推覆构造研究及其意义.福建地质,13(4): 248—277.
- 姜益丰,2007.马坑铁矿中矿段矿床成因浅析.矿业快报,(7):69—77.
- 姜益丰,2009.马坑铁矿床成矿地质特征分析.现代矿业,(8):89—91.
- 李希敏,吴歧,吴小林,等,1980.福建省“马坑式”铁矿含矿层位的初步探讨.地层学杂志,4(1): 60—63.
- 刘武刚,陈友智,2006.马坑铁矿中矿段地质特征及成因认识.有色金属(矿山部分),58(2): 14—16.
- 骆金锭,鄢庆南,1980.闽西南马坑式铁矿主矿体的层位和时代.地质科学,(4): 331—339.
- 毛建仁,陈荣,李寄嶧,等,2006.闽西南地区晚中生代花岗质岩石的同位素年代学、地球化学及其构造演化.岩石学报,22(6):1723—1734.
- 陶建华,1987.闽西南地区东部逆冲推覆构造及其形成机制.福建地质,6(4): 249—270.
- 陶建华,2008.福建推覆构造研究与找矿突破.福建地质,27 (2): 105—124.
- 陶建华,陈福龙,2006.福建推覆构造研究.石油实验地质,28 (3): 259—285.
- 王尔康,欧阳钟辉,刘聪,1985.福建大田推覆构造群的发现及其地质意义.科学通报,(3): 203—205.
- 邢文臣,王文斌,季绍新,等,1982.从矿石结构构造看马坑式铁矿的成因.中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,3(2): 52—63.余心起,狄永军,吴淦国,等,2009.粤北存在早侏罗世的岩浆活动——来自霞岗杂岩SHRIMP锆石U-Pb年代学的证据.中国科学(D辑),39(6): 681—693.

张承帅,毛景文,谢桂青,等,2012a.福建马坑矽卡岩型铁(钼)矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄.吉林大学学报(地球科学版),42(增刊): 224—236.

张承帅,苏慧敏,于森,等,2012b.福建龙岩大洋—莒舟花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Sr-Nd-Pb 同位素特征及其地质意义.岩石学报,28(1): 225—242.

赵一鸣,谭惠静,许振南,等,1983.闽西南地区马坑式矽卡

岩型铁矿床.中国地质科学院矿床地质研究所所刊,(1): 1—141.

周珍琦,2006.闽西南地区推覆构造特征.石油实验地质,28(1): 38—41.

邹天人,葛朝华,韩发,等,1981.论马坑铁矿的成矿特征和形成条件.中国地质科学院矿床地质研究所所刊,2(1): 1—24.