

## 海南岛西部青白口系石碌群褶皱变形特征及其控矿分析

陈沐龙<sup>1,2</sup>, 李孙雄<sup>2</sup>, 官军<sup>2</sup>, 曾雁玲<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 海南省地质调查院, 海口 570206)

**摘要:** 青白口系石碌群属于一套海相沉积经变质的以细粒碎屑岩、泥岩及镁质碳酸岩夹火山岩为原岩的变质岩系组合, 赋存有沉积变质型铁矿和热液型铜钴矿。岩石经历了多期次变形作用的改造, 总体表现为由褶皱变形往韧性断裂变形演化的特征, 褶皱变形包含了三个变形序列的构造形迹组合。与铁矿主成矿期密切有关的NW向石碌复向斜属于海西-印支期造山运动的产物。铜钴矿成矿物质与海西-印支期岩浆侵入活动有关, 并由于受石碌复向斜的改造, 导致其与沉积变质型铁矿空间分布上的协调一致。

**关键词:** 褶皱变形特征; 成矿时代; 成矿机理; 石碌群; 海南岛

**中图分类号:** P566.6; P534.1

**文献标识码:** A

海南岛地处特提斯构造域、西太平洋构造域和欧亚大陆板块构造域的交汇部位, 具有多旋回多阶段的地质演化历史。地质情况复杂, 发育有前中生代区域性的面状变质变形和中生代以来的线状构造变形及变质, 伴随形成了丰富的地质矿产资源。其中, 著名的石碌大型富铁矿为区域面状变质变形作用的产物, 其赋矿地层层位为青白口系石碌群第六层。

石碌群目前仅出露于海南岛西部昌江县石碌镇, 因其赋含沉积变质型铁矿和热液型钴铜矿而先后被众多的地学工作者所关注, 对石碌群的研究一直方兴未艾。张仁杰等<sup>[1]</sup>、海南省地矿局<sup>[2]</sup>依据石碌群上部(第六层)中的 *Tawuia* - *Chuaria* 宏观藻类生物群和第六层铁矿主矿层 Sm - Nd 等时线年龄为  $840.6 \pm 20.4$  Ma, 把石碌群划归上元古界青白口系。此后, 许德如<sup>[3]</sup>等在石碌群上部第六层二透岩中进行碎屑锆石测年, 普遍出现约 960 ~ 1300 Ma 的 Pb - Pb 年龄群; Li et al.<sup>[4]</sup> 采用 SHRIMP U - Pb 锆石法在石碌群下部获得了大量 1200 ~ 2660 Ma 的碎屑锆石年龄。由此推测石碌群沉积上限至少 960 Ma 以后,

与宏观藻类化石和 Sm - Nd 等时线年龄基本一致。

但石碌群是否仅分布于昌江县石碌镇? 其延伸情况如何? 其成矿时代又是如何? 这些问题至今没有能够很好的回答。它不仅直接关系到本区地质找矿问题, 也是关系到海南岛区域地质演化的一个根本性问题。

本文从构造解析角度, 结合同位素年龄和野外地质资料, 在建立起石碌群的褶皱变形序列的基础上, 分析了其变形时代。根据卷入石碌复向斜(与沉积变质型铁矿主成矿期有关的褶皱)最新地层为石炭系, 并被二叠纪花岗岩(锆石 U - Pb 年龄为 257.5 Ma)侵蚀, 以及复向斜走向与古生界和海西 - 印支期花岗岩中的面理、线理走向协调一致, 认为该向斜属于海南岛海西 - 印支期造山作用的产物。李孙雄等<sup>[5-7]</sup>主张该向斜是组成海南岛 EW 向弧状构造带的一部分。由此提出了铁矿的主成矿期和钴铜矿成矿时间为海西 - 印支期的新见解, 并初步探讨了其成矿物质来源, 为今后深入研究石碌群成矿作用背景及其空间延伸带来新的启示。

## 1 石碌群变形特征

### 1.1 地质概况

石碌群属于一套区域绿片岩相变质岩石组合

收稿日期: 2011-07-17

基金项目: 《海南省区域地质志》成果之一, 项目编号: 1212010610713。

作者简介: 陈沐龙(1969—), 男, 广东汕头人, 副研究员, 在读博士, 现从事矿产地质和区域基础地质研究, E-mail: Chenml1969@126.com

(原岩为一套滨浅海相细粒碎屑岩、泥岩及镁质碳酸岩夹火山岩),总厚度>1000 m。岩层走向NNW向,共分六层:第一层为绢云片岩与绢云石英片岩互层;第二层为白云质灰岩;第三层为石英绢云片岩夹绢云片岩;第四层为石英岩;第五层为绢云片岩,上部少量变质粉砂岩及硅质板岩,顶部有流纹质凝灰岩;第六层为结晶灰岩、透辉透闪岩、赤铁矿层、白云岩,夹少量炭质板岩。

由于受后期多期次的地质作用影响,尤其是广泛的海西-印支期构造-岩浆作用的强烈改造,导致石碌群呈“残留体状”产出(图1)。东面被上古生界和第四系不整合上覆,西面以戈枕韧性剪切带与中元古界长城系呈断层接触,南、北侧被二叠纪-三叠纪花岗岩侵蚀,北面与上覆震旦系石灰顶组呈不整合接触。周边分布有NE向、NNE向、S-N向和NW向断裂。

## 1.2 变形特征

石碌群岩石经历了多期次变形作用的改造,构造变形复杂,具有多方向、多时代构造形迹的叠加,总体表现为由褶皱变形往脆性断裂变形演化的特征。其中,褶皱变形阶段形成与主成矿期密切相关的

NW向石碌复向斜,是石碌群中最醒目的向斜构造。

按构造形迹类型划分,石碌群发育有新生面理、线理和褶皱等变形形迹,形成一套总体有序、局部无序的构造岩石地层。

### 1.2.1 面理

新生面状构造根据形成先后和构造物理意义又可分为三种。

透入性顺层剪切面理( $S_1$ ):以原生层理为变形面形成。石碌群在早期横向构造置换中,原始层理( $S_0$ )多被新生片理( $S_1$ )所置换, $S_1$ 由重结晶作用形成的石英纹层和绢云母纹层相间分布而体现。宏观露头尺度中,变形相对较弱的低应变区, $S_1$ 面理与原始层理( $S_0$ )呈小角度交切关系,如呈透镜状、似层状分布于石碌群第五层的钾流纹质凝灰岩、钾流纹质熔结凝灰岩以及第二、第六层白云质结晶灰岩、白云岩, $S_0$ 与 $S_1$ 的交切关系比较普遍(图2)。在微观领域, $S_0$ 和 $S_1$ 交角的大小直接与构造置换程度密切相关,置换程度越高,两者产状越趋向一致,呈NW走向。

褶皱轴面劈理( $S_2$ ):以透入性新生剪切面理( $S_1$ )为变形面,形成了席卷整个石碌群的NW向石

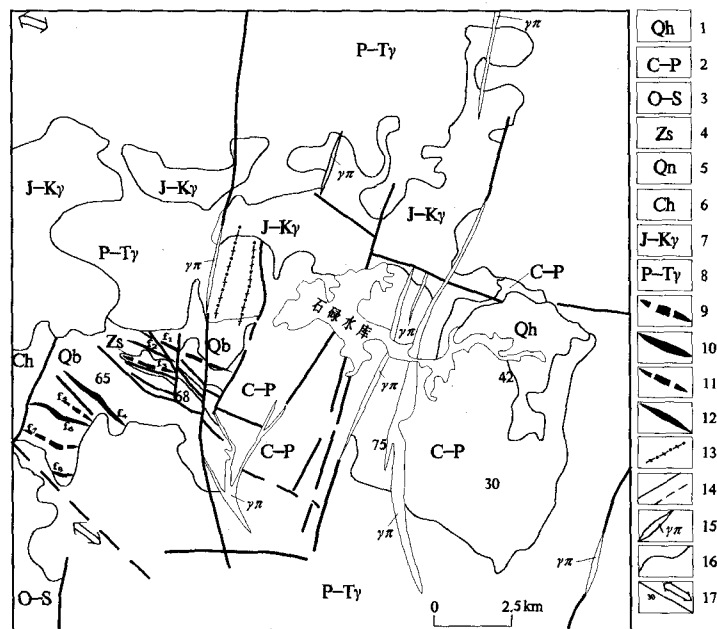


图1 海南岛石碌地区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Shilu area, Hainan province

- 1.第四系;2.石炭系-二叠系;3.奥陶系-志留系;4.震旦系;5.青白口系;6.长城系;7.燕山期花岗岩;8.海西-印支期花岗岩;9.向斜;
- 10.背斜;11.倒转向斜;12.倒转背斜;13.韧性剪切带;14.断裂;15.花岗斑岩脉;16.地质界线;17.斑晶定向方向/片理产状

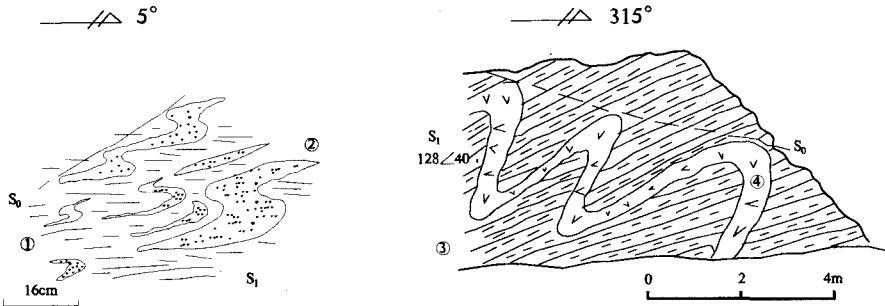


图2 石碌群中的顺层剪切面理

Fig. 2 Bedding shear foliation in Shilu group

①富绢云母成分层;②富石英质成分层;③石英绢云母片岩;④酸性火山凝灰岩

碌复式向斜。复式向斜由一系列NW向次级小褶皱组成,在褶皱转折端,常伴生轴面劈理( $S_2$ )(图3)。沿 $S_2$ 面理并未出现大量新生矿物,仅见鳞片状绢云母沿劈理分布,局部为石英细脉充填。

横向褶皱的间隔劈理( $S_3$ ):晚期形成,常与晚期局部发育的NNE向-NE向横跨叠加褶皱相伴随。劈理间隔较大,具非透入性, $S_3$ 与 $S_0$ 或 $S_1$ 大角度相交,多表现为压熔劈理或膝折面理(图4)。

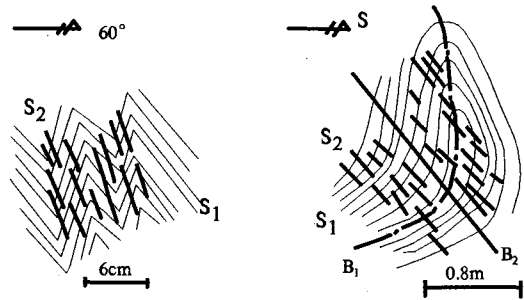


图3 石碌群中的褶皱轴面劈理( $S_2$ )

Fig. 3 Axial-plane cleavage in fold of Shilu group ( $S_2$ )

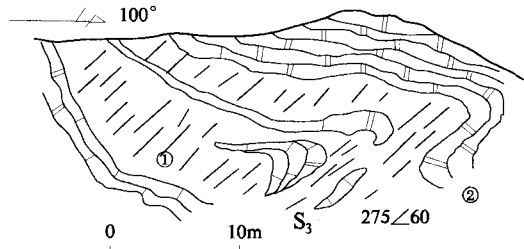


图4 石碌群北一铁矿中的 $S_3$ 劈理

Fig. 4  $S_3$  cleavage in Beiyi iron ore-body occurred in Shilu group

①铁矿体;②二透岩

### 1.2.2 线状构造

石碌群的线状构造主要形成于早期横向拉伸过程中,表现形式多种多样。宏观规模上,夹于第一层和第三层之间的薄层白云质结晶灰岩、白云岩等强干层空间上呈透镜状展布,构造上具有石香肠特点;露头上由相对能干性的矿物集合体构成的拉伸线理屡见不鲜,而在微观领域内,单矿物或矿物集合体拉伸变形而成的a型线理更是层出不穷,几乎见及各个层序之中。

### 1.2.3 褶皱

根据构成褶皱变形性质和叠加形成先后次序,石碌群中可划分出三期褶皱。

第一期褶皱( $B_1$ ):仅局限于露头尺度和显微尺度,在第五层中尤为发育。褶皱形态不规整,两翼极不对称,翼部减薄而核部加厚,翼间角紧闭,属于剪切流变褶皱。 $B_1$ 褶皱反映了伸展体制下顺层构造滑动的一般特点。

第二期褶皱( $B_2$ ):石碌群和上覆石灰顶组组成的最主要褶皱变形,前人确定的自北而南的北一向斜、红房山背斜和石灰顶向斜组合而成的轴迹呈NWW、近E-W向展布、西端翘起并收敛、东端倾没并撒开的石碌复向斜构造是其代表。向斜南翼发育三个次级倒转背斜和二个倒转向斜(图5),核部次级褶皱则表现为直立型。次级褶皱分布和形态特点显示,石碌复向斜属于一个至少已缺失北东翼(可能包括部分核部)地层的残存向斜构造。沿走向,复向斜南东端被上古生界掩盖。但在残存向斜核部位置,石炭系发育NW向的开阔褶皱,因此,卷入该复向斜中的地层至少包括石炭系。从而使得不同时代

岩石单位具有一致的面理展布方向。资料显示,尽管石炭系分别上覆于石碌群和石灰顶组之上,但在石炭系与石碌群接触处,两者面理(S1)产状分别是:88°∠58°、80°∠65°;与石灰顶组接触处,分别为305°∠12°、310°∠18°,显示了非常好的协调一致性。

第三期褶皱(B<sub>3</sub>):一般分布在NE向戈枕韧性剪切带和石碌水库韧性剪切带附近。褶皱轴迹呈NNE-NE向,褶皱高角度横跨于早期NWW-近E-W向褶皱之上,贾精一<sup>[9]</sup>称之为“W型”褶皱。

1.3 变形序列及其变形时代分析

上述资料显示,石碌群包含了三次变形的叠加,形成了三个不同变形序列的共生形迹组合。

第一次变形序列的共生形迹组合为顺层剪切片理(S<sub>1</sub>)、各种拉伸线理(L<sub>1</sub>)和顺层剪切褶皱(B<sub>1</sub>)。根据白云母-绿泥石地质温度计,其形成温度为450℃±。

第二次变形序列为以NW向石碌复向斜(B<sub>2</sub>)和轴面劈理(S<sub>2</sub>)为特征的构造形迹组合。

第三次变形序列共生形迹组合由NE-NNE向褶皱及其轴部零星发育的膝折构造和间隔劈理共同组成。

其中,第一次变形构造形迹基本上已全部被卷入到第二次变形中。刘宏英<sup>[9]</sup>在第六层透辉透闪岩获得Rb-Sr等时线年龄为330 Ma,在相应层位千枚岩、板岩、白云岩获得Rb-Sr等时线年龄为315~340 Ma,因此其变质期可能为石炭纪。

第二次变形形成的北西向构造形迹,与琼西震旦系、下古生界和上古生界新生面理、线理和褶皱,

以及二叠纪、三叠纪同造山期花岗岩片麻理的北西向展布方向协调一致,暗示了它们应属于同一期构造作用的产物。刘宏英<sup>[9]</sup>获取的该区上覆于石炭系粉砂质千枚岩Rb-Sr等时线年龄为324 Ma。结合上述年龄资料分析,反映了青白口系石碌群与石炭系经历了同一次构造-热作用过程。这一广泛的NW向面理、线理,与琼东广大地区下古生界和上古生界中的NE向新生面理、线理和褶皱,以及二叠纪、三叠纪同造山期花岗岩NE向的片麻理,共同组成了一条晚古生代造山作用形成的横贯全岛略向南东突出的近E-W向弧状构造带。其形成与海西-印支期造山运动有关。陈新跃等<sup>[10]</sup>在弧状构造带南西面东方市公爱NW向糜棱岩带中获得白云母Ar-Ar法年龄为248~250 Ma,并根据该复向斜被二叠纪-三叠纪花岗岩体侵蚀的事实,认为其生成时代应为二叠纪。

第三次变形形成的NE-NNE向褶皱一般分布在NE向戈枕韧性剪切带和石碌水库韧性剪切带附近,因此,有理由推测其成因可能与这两条主干剪切带的形成有关。此外,在石碌南西侧旧村岭下古生界中,由于NE向戈枕韧性剪切带的作用,岩石发育呈“S”扭曲的、轴面倾向NW的复背斜,复背斜北西翼并伴随发育次级“Z”型褶皱,明显属于NE向戈枕韧性剪切带由NW→NS逆冲过程中相伴随形成的构造形迹。叶伯丹<sup>[11]</sup>、陈新跃等<sup>[10]</sup>在戈枕韧性剪切带糜棱岩中分别获得绢云母Ar-Ar法年龄为228 Ma和227 Ma,时代为三叠纪。

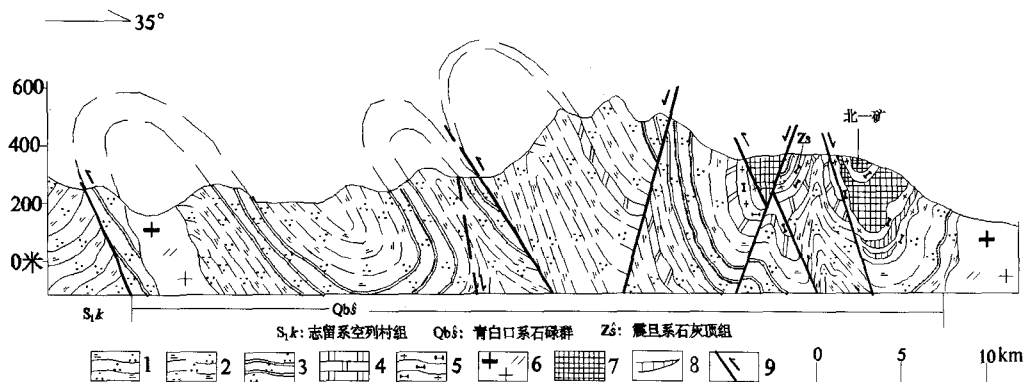


图5 北西向石碌复向斜构造剖面图

Fig. 5 Structure section of Shilu synclinorium

1.石英绢云母片岩;2.绢云母石英千枚岩;3.石英岩;4.白云岩;5.二透岩;6.花岗岩;7.铁矿体;8.钴矿体;9.断裂及其运动方向;

S1k:志留系空列村组;Qb:青白口系石碌群;Z:震旦系石灰顶组

表1 石碌复向斜各次级褶皱主要特征  
Table 1 Main characteristics of second-order folds of Shilu synclinorium

复向斜位置	褶皱名称	编号	分布位置	规模 (长度)	翼部产状			轴面产状		组成褶皱地层		褶皱形态
					部位	倾向	倾角	倾向	倾角	核部	翼部	
核部	北一向斜	f <sub>1</sub>	自北一铁矿,经石灰顶至桦 栗山北,东面被 NNE 向断 裂所截。	约 4 km	N 200°		60°	290° ~ 295°		石碌群第六层	石碌群第五层	直立开阔型
					S 35°		70°					
	红房山背斜	f <sub>2</sub>	位于石碌岭西侧,经红房岭 至大修厂西,东面被 SN 向 断裂所截。	2.5 km	N 30°		30 ~ 60°	295° ~ 300°		石碌群第五层	石碌群第六层	直立紧闭型
					S 210°		60°					
核部	石灰顶向斜	f <sub>3</sub>	自南一铁矿,经石灰顶至枫 树坪铁矿,东面被 SN 向断 裂所截。	2.5 km	N 200°		50°	295° ~ 300°		石灰顶组	石碌群第六层	直立开阔型
					S 20°		62°					
	金牛岭背斜	f <sub>4</sub>	西起石碌铁矿仓库北侧,向 东经金牛岭,南至 375 排 土场。被中二叠纪花岗岩侵 蚀。	3.5 km	N 40°		35 ~ 70°	40° ~ 45°		石碌群第一层	石碌群第二层	同斜倒转型
					S 45°		60°					
南西翼	亲变岭向斜	f <sub>5</sub>	位于亲变岭东,西为 SN 向 断裂所截,东被中二叠纪花 岗岩侵蚀。	1.2 km	N 50°		75°	50°		石碌群第五层	石碌群第四层	同斜倒转型
					S 50°		60°					
	亲变岭背斜	f <sub>6</sub>	沿亲变岭产出。西为 NE 向 断裂所截,东被中二叠纪花 岗岩侵蚀。	2.5 km	N 45°		60°	40°		石碌群第三层	石碌群第四层	同斜倒转型
					S 35°		40 ~ 70°					
南西翼	昂累岭向斜	f <sub>7</sub>	沿昂累岭产出。西为 NE 向 断裂所截,东被中二叠纪花 岗岩侵蚀。	约 2 km						石碌群第五层	石碌群第四层	同斜倒转型
南西翼	昂累岭背斜	f <sub>8</sub>	沿昂累岭产出。西、东被中 二叠纪花岗岩侵蚀。	1.2 km						石碌群第三层	石碌群第四层	同斜倒转型

为 NNE 向褶皱叠加,产状变化较大。

## 2 控矿作用分析

石碌铁(钴铜)矿赋存于石碌群第6层和震旦系石灰顶组中,石碌群第6层是主要的含矿层。围岩为含透辉石透闪石白云岩。除富矿段矿石与围岩接触截然外,一般矿段与围岩渐变接触,过渡带常有宽窄不等的矿化带存在。矿体呈层状、似层状产出,仅在边缘见小透镜体及分支复合、尖灭再现等现象。铁与钴、铜矿体在平面上展布一致,但大小有异。一般铁矿体规模大,钴、铜矿体规模也大。在垂直方向上是上下叠置关系,通常是铁在上,钴、铜在下,只是构造起伏倒转时,钴铜矿体才位于铁矿体之上。除个别地段外,矿体之间间距一般30~60 m,总体是西近东远,南翼近而北翼远。

刘裕庆<sup>[2]</sup>、中国科学院华南富铁矿科学研究队<sup>[13]</sup>、吕古贤<sup>[14]</sup>等认为石碌铁矿成矿物质之基础源于海底火山沉积作用,这一认识已越来越为众多矿床地质专家所接受。矿石氧同位素值大部分+4.7‰~+7.3‰,属于地壳沉积成因。但随着基础地质研究的深入,赋存于石碌群中的火山岩仅为富钾流纹质凝灰岩或钾质流纹岩,其来源深度属于上地壳范畴,因此不可能把大量的铁元素带上来。许德如等<sup>[3]</sup>在石碌群第六层中获得碎屑岩浆锆石<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄值为1670~1890 Ma、1462±29 Ma,分别与该区海南岛结晶基底地层——中元古代长城系抱板群和中元古代花岗岩侵位年龄在误差范围内一致,表明抱板群和中元古代花岗岩至少为石碌群提供部分物质来源。其中,抱板群磁铁矿、钛铁矿、赤褐铁矿等含铁矿物含量普遍较高,最大值分别为 $255.08 \times 10^{-6}$ 、 $211 \times 10^{-6}$ 、 $287.5 \times 10^{-6}$ 。中元古代片麻状花岗闪长岩和片麻状二长花岗岩 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 平均值分别为4.59%和3.70%,高于海南岛海西-印支期、燕山期花岗岩相应值,而其磁铁矿、钛铁矿、赤褐铁矿等含铁矿物含量则远远低于海南岛海西-印支期、燕山期花岗岩。表明中元古代花岗岩体中的铁元素更多地以离子态形式存在于其它矿物晶格中,矿物晶格在后期风化破碎过程中,铁离子被大量的释放,并发生迁移和富集。因此认为,抱板群及中元古代花岗岩体为石碌铁矿提供物质来源的是有可能的。但这种具有矿源层特点的含铁岩系,

在沉积过程中只是造成成矿组分的初步富集,也许并未构成具工业意义的矿体。多次的褶皱变形在成矿过程中起着非常重要的作用。在构造动力作用下,成矿物质从矿源层中活化分异出来并在应力梯度支配下向滑动带迁移集中,从而形成一定品位的工业矿体。

第一次区域变形变质作用使矿源层中的铁得到进一步的富集,并因变形程度的差异而显示贫矿和富矿之分。无论在手标本上还是显微镜下,都可见到矿石和含矿围岩呈现强烈的塑性流动变形组构和构造分异条带,而且变形强度和构造分异程度往往与矿石品位呈正相关关系,强烈变形的铁矿石品位很高,含P、S等组分较少(形成富铁矿石),而弱变形的铁矿石相对富P、S,品位也大大降低(属于贫铁矿石)。富铁矿石主要矿石矿物是赤铁矿和少量磁铁矿,脉石矿物为石英和绢云母。以细鳞片状结构为主,次为变余粉砂结构;以片状构造为主,次为块状及条带状。具有低绿片岩相矿物组合特征,与石碌群岩石区域变质相一致。贫铁矿石中并出现透闪石和大量的石榴子石(含量20%~25%)等特征变质矿物组合,属于角岩相变质作用常见的特征矿物组合。

第二次褶皱变形对矿体的产出形态起到至关重要的控制作用,矿体在转折端部位加厚而在两翼减薄或拉断是褶皱叠加控矿的一般规律。在第一次深层次顺层剪切变形作用之后,石碌群变质岩又发生了中浅层次构造相变形,形成了NWW向的石碌复向斜构造,造成了已成铁矿物质自翼部向转折端部位运移,从而构成了矿区矿体进一步加厚的最重要构造。主矿体和富铁矿体多赋存于NWW、近E-W向石碌复式向斜的谷(槽)部或向斜轴部附近的层间剥离带或褶曲发育处,层间滑动作用和褶皱弯流作用促成矿体的富集加厚。

值得指出的是,富赤铁矿石中石英出现熔蚀结构,并常见黄铁矿和磁黄铁矿多呈细脉状充填于矿石中,反映矿石经历了低绿片岩相变质作用之后,叠加了一次热液作用的改造,导致两种不同环境矿石矿物并存。即从矿石特征而言,早期为氧化环境下形成的氧化型矿石,与石碌群滨浅海沉积环境相吻合;晚期为还原环境下形成的细脉状还原型矿

物,属于热液成因类型。根据石碌水库边二叠系灰岩与二叠纪花岗岩接触处分布有矽卡岩型铁矿体的特征推断,矿体形成与海西-印支期岩体有关,花岗岩侵入携带的矿质和提供的热源等叠加对成矿作出了一定贡献。

此外,钴铜矿体矿石主要矿物为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和少量辉钴矿等还原型矿石。钴的存在形式:以辉钴矿存在的约占25%,以类质同象存在于黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿中的占65%,其余存在于磁铁矿和脉石中。铜大部分以黄铜矿形式出现,少量呈辉铜矿和斑铜矿产出。钴铜矿主要有用元素为Co、Cu,伴生组分有Ni、Ag、S。矿石主要为不规则网脉状、条带状、致密块状、小团块状以及浸染状。其矿石结构明显属于热液作用成因,与铁矿石区域变质作用形成的矿石结构明显不同。结合上述分析认为,钴铜矿体形成于热液叠加成矿阶段。但空间分布中与铁矿体呈协调状产出,平面上展布一致,垂直方向上通常是铁在上,钴、铜在下,只是构造起伏倒转时,钴铜矿体才位于铁矿体之上,由此表明,两种不同类型矿体同时经历了第二次变形作用的改造,同步被卷入石碌复向斜中。因此,钴铜矿体仅能形成于第一次流变与第二次塑性变形之间。结合第二次塑性变形形成时间以及海南岛缺乏晋宁期、加里东期岩浆侵入活动事实分析,认为钴铜矿体成矿物质来源与海西-印支期广泛的岩浆侵入活动有关。

上述分析表明,赋存于青白口系石碌群中的铁矿和钴铜矿体的成矿作用处于海南岛海西-印支期造山作用的大背景中。

### 3 结论

(1) 石碌群三次褶皱变形时间分别对应于石炭纪、二叠纪和三叠纪,同属于海南岛海西-印支期造山运动的作用背景下。属于海南岛海西-印支期造山作用生成起来的近E-W向弧状构造带的一部分。

(2) 赋存于青白口系石碌群中的铁矿和钴铜矿体属于不同物质来源和不同成因类型,铁矿成矿物质更多地来源于抱板群及中元古代花岗岩体风化碎屑残余,为沉积变质成因;而钴铜矿体成矿物质来源与海西-印支期广泛的岩浆侵入活动有关,属于热液型成因。但两者成矿作用都处于海南岛海西-印支期造山作用的大背景中。

### 参考文献:

- [1] 张仁杰,马国干,蒋大海,等.海南岛前寒武纪地质[M].武汉:中国地质大学出版社,1990.
- [2] 海南省地矿局.海南岛岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [3] 许德如,马驰,李鹏春,等.海南岛变碎屑沉积岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及地质意义[J].地质学报,2007,81(3):381-393.
- [4] Li Z X, Li X H, Li W X, et al. Was Cathaysia part of Proterozoic Laurentia? - new data from Hainan Island, south China [J]. Terra Nova, 2008, 20(2): 154-164.
- [5] 李孙雄,云平,范渊,等.海南岛琼中地区琼中岩体锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2005,29(2):227-233.
- [6] 李孙雄,范渊,莫位明,等.海南岛古生代弧状构造带的特征及其地质意义[J].矿产与地质,2006,20(3):232-236.
- [7] 李孙雄,陈沐龙,周进波,等.海南岛中部古生代沉积盆地格局及其演化特征[J].华南地质与矿产,2007,23(3):41-46.
- [8] 贾精一,贾维民,高德臻.石碌群的“W”型的叠加褶皱及大型组构解析[J].中国区域地质,1985,4(2):79-90.
- [9] 刘宏英.对石碌群地层铷-锶全岩等时线年龄的再认识[J].地质与勘探,1981,17(11):47-51.
- [10] 陈新跃,王岳军,范蔚茗,等.琼西南NE向韧性剪切带构造特征及其Ar-Ar年代学约束[J].地球化学,2006,35(5):479-488.
- [11] 叶伯丹,朱家平.海南东方二甲抱板群和金矿的时代[J].地质找矿论丛,1990,5(1):12-17.
- [12] 刘裕庆.海南石碌铁、钴、铜的硫同位素研究和矿产成因讨论[J].中国地质科学院矿床地质研究所文集(2),第1号,1981.
- [13] 中国科学院华南富铁矿科学研究队.海南岛地质与石碌铁矿地球化学[M].北京:科学出版社,1988.
- [14] 吕古贤.海南岛石碌铁矿含矿岩系中火山岩类的新发现与研究[J].中国区域地质,1988,7(1):52-56.



## Folded Deformation and Ore–Controlling Feature of Shilu Group, Qingbaikouan System, Western Hainan Island

CHEN Mu-Long<sup>1,2</sup>, LI Sun-Xiong<sup>2</sup>, GUAN Jun<sup>2</sup>, ZENG Yan-Ling<sup>2</sup>

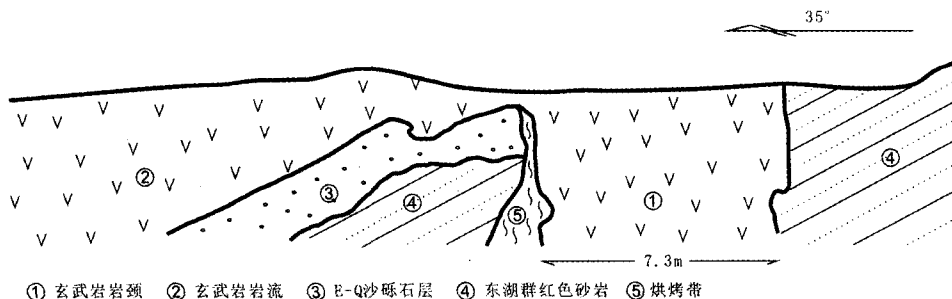
(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Geological survey of Hainan province, Haikou 570206, China)

**Abstract:** The Shilu Group of Qingbaikou System is composing of metamorphic rock series, whose protolith is marine fine grained clastic rock, mudstone and magnesian carbonatite with interbedded volcanic rock. Parametamorphic iron ore deposits and hydrothermal copper-cobalt deposits are hosted in the Shilu group, which has undergone several times of deformation, and evolution from fold deformation including three structure assemblages of deformation sequence to brittle-ductile fracture. Shilu NW-trending synclinorium, which is the production of Hercynian-Indosinian orogeny, has a close relation with principal metallogenic epoch of iron deposit. The spatial distribution of copper-cobalt deposits, whose metallogenic material may be provided by Hercynian-Indosinian magma intrusion is consistent with parametamorphic iron deposits because of both are reshaped by Shilu NW-trending synclinorium.

**Key words:** fold deformation feature; metallogenic epoch; metallogenic mechanism; Shilu group; Hainan island

## 武汉外围浠水等地发现新生代玄武岩火山口

由中国地质调查局武汉地质调查中心承担的长江中游城市群地质环境调查与区划项目在进行野外地质调查过程中,于武汉外围浠水—马垅一带发现了保存完好的玄武岩火山口。火山口呈缓丘状地貌,围岩为白垩纪至第三纪东湖群红色砂岩。该火山岩颈宽7.3 m,北侧烘烤带宽0.2~1.2 m,北侧的玄武岩熔岩流覆盖在厚0.3~0.8 m未固结的灰色沙砾石层之上,该沙砾石层与下伏东湖群红色砂岩之间为波状起伏的不整合面(见下图)。目前对该玄武岩火山活动的性质、形成时代正在进一步的研究中。这一发现对长江中游尤其是城市圈一带新生代以来的地质演化具有重要的意义。



(武汉地质调查中心 陈立德)