

天文学、地球科学

粤北大宝山矿区中生代叠加褶皱特征及其地质意义

谭志军^{1,2} 单业华¹ 梁新权¹ 张小琼^{1,2} 倪永进^{1,2}

(中国科学院广州地球化学研究所¹, 广州 510640; 中国科学院大学², 北京 100049)

摘要 大宝山矿区位于南岭地区南部,中生代印支期-燕山期至少发生了两期褶皱作用,清楚地记录了自身的构造变形历史;为了解大宝山矿区构造演化提供了非常有利的条件。通过区内褶皱、石英脉、劈理、膝褶等变形构造的分析,首次识别了区内两个世代不同方向的褶皱构造的横跨叠加型式。发现早期褶皱(轴面走向NW-NNW向)形态较为紧闭,为斜卧褶皱;晚期褶皱(轴面走向为NE-NEE向)形态较为宽缓,为直立倾伏褶皱。结合大区域褶皱构造线的分析,提出华南地区横跨型叠加褶皱的早期褶皱应为近南北向,晚期褶皱为近东西向。基于区内多期变形构造的交切关系、石英脉辉钼矿年龄数据以及区域相关地质事件分析,这两组褶皱构造反映了大宝山矿区乃至华南地区中生代陆内两次变形事件: NW-NNW向褶皱是印支早期华南板块内部强烈构造-岩浆活动的结果; NE-NEE向褶皱是燕山早期华南板块陆内变形作用的结果。大宝山矿区叠加褶皱变形研究不仅为研究华南大陆叠加褶皱变形特征提供了具体例证,而且对大宝山矿区多金属矿的勘探起重要指导作用。

关键词 叠加褶皱 陆内变形 干涉类型 构造演化 大宝山
中图分类号 P542.2 P613; **文献标志码** A

叠加褶皱又称重褶皱,是指已经褶皱的岩层再次弯曲变形的构造现象;在造山带中是非常普遍的现象。研究褶皱构造的叠加关系对于揭示复杂构造变形区的构造变形过程与运动学特征具有重要意义^[1-3];同时,对叠加褶皱的研究是分析一个地区构造变形序列及区域构造演化历史的重要方法之一^[2,4-12]。

研究区位于华夏地块中南岭成矿区南部。对于区域叠加褶皱的认识,大多数学者认为华南地区早-中生代经历了印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系的转换,所形成的两个世代的褶皱为横跨型叠加褶皱。但不同的学者对华南地区叠加褶皱的形成时代及机理提出了不同的解释。张岳桥等^[13,14]

通过分析华南印支-早燕山构造层(D-J₁₋₂)广泛发育的褶皱构造,认为早期近东西向宽缓褶皱,具有南北成带、晚期近南北向相对紧闭褶皱,具有东西分区的区域展布特征;基于地层接触关系和早-中生代岩浆岩和火山岩同位素,认为近东西向褶皱是对印支早期华南地块南北边缘碰撞造山事件的远程响应,近南北向褶皱起源于燕山早期(170 Ma)古太平洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用。王建等^[15]通过对湘中地区穹盆构造的分析,提出湘中地区的穹盆构造是加里东期、印支早期近东西向褶皱共轴叠加的基础上,再和印支晚期近南北向褶皱叠加而成的,是三期褶皱叠加而不是两幕褶皱叠加,印支晚期为其形成的最终时期,在燕山期受到左旋走滑断裂的改造。徐先兵等^[16]通过对华南早中生代构造层、岩浆活动序列和构造变形样式的综合分析,认为早期近东西向褶皱的形成与中、晚三叠世(245~225 Ma)华南-华北板块沿秦岭-大别造山带的陆-陆碰撞和华南地块南缘古特提斯洋的俯冲增生作用有关,晚期近南北向褶皱起始于中侏罗世晚期(170 Ma)的早燕山构造事件。需要指出的是,以上关于叠加褶皱早、晚关系的观点主要基于区域地质构造线和褶皱构造变形样式的分析,缺乏露头尺度构造的证据;同时,叠加褶皱的变形样式并不能反映叠加的早晚关系,早期褶皱宽缓,晚期褶皱相对紧闭的认识也

2016年5月10日收到 中国地质调查局地质矿产调查评价专项(04-025-046)、国土资源部公益科研专项(201211024-03)和国家自然科学基金(41576040 #0872080 #1072081)资助
第一作者简介:谭志军(1990—),男,硕士研究生。研究方向:构造地质学。E-mail: 1275870059@qq.com。

引用格式:谭志军,单业华,梁新权,等.粤北大宝山矿区中生代叠加褶皱特征及其地质意义[J].科学技术与工程,2017,17(4):1-12

Tan Zhijun, Shan Yehua, Liang Xinquan, et al. Mesozoic superimposed folds and its implications in Dabaoshan polymetallic ore deposit, North Guangdong province [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(4): 1-12

是不充分的。我们在大宝山矿区就发现露头叠加褶皱的早期褶皱相对紧闭,晚期褶皱相对宽缓。此外,上述前人观点主要从区域尺度上对叠加褶皱给予了确认和讨论,但证据尚不足,使得对华南地区中生代叠加褶皱的形成时代及机理仍然存在争议。因此,对于华南地区叠加褶皱有必要进一步研究。

对于研究区大宝山矿床的研究,大多数地质学家主要集中于成岩年代学^[17-22],矿床地质特征、成矿模式和成矿机理的研究^[20, 23-27];很少深入到大宝山矿区构造特征的详细研究。而本次研究在区内861平台首次发现了露头叠加褶皱构造现象,叠加褶皱的研究对讨论区域构造演化历史以及叠加褶皱对内外生矿产与变质矿床的控制,具有重要意义^[28-31]。因此,基于大宝山矿床目前的研究现状,在该矿区展开新的矿区构造特征的研究是非常有必要的。

此次研究在大宝山矿区进行了多次野外考察,发现了大宝山矿区露头叠加褶皱。通过多次野外观测,查明了其中石英脉、褶皱、劈理及膝褶的变形、产状、分布的特征及其与蚀变的关系。结合辉钼矿石英脉中辉钼矿的年龄数据,发现北西-北北西向褶皱为早期褶皱,北东-北东东向褶皱为晚期褶皱。早期褶皱较为紧闭,晚期褶皱较为宽缓,两期褶皱近乎横跨叠加。大宝山矿区发育的露头叠加褶皱作为华南地区露头叠加褶皱并不多见的一个具体实例,对其详细研究不仅能加深我们对大宝山矿区构造面貌及叠加褶皱与成矿关系的认识和理解,而且能加深我们对华南地区中生代陆内叠加褶皱的重新认识和理解,这正是本文研究的出发点。目前区内保存较好的861平台及其以上平台,给我们开展构造观察提供了十分便利的场所。

1 矿区地质概况

大宝山位于广东省韶关市曲江县沙溪镇内,大地构造位置上位于华夏地块中部、南岭成矿区中段南侧[图1(a)]。

大宝山矿床作为一个重要的大型铜、铅、锌、铁、钼、钨多金属矿床,露天开采至今已有近六十年历史。矿体主要赋存于中、上泥盆统火山-沉积岩层中,沿北西西向展布,长近3 km,宽约400 m,矿体总体上向东倾,局部地段向西倾。矿床类型有矽卡岩型钨钼矿、矽卡岩型层状-似层状铜多金属矿、风化淋滤型褐铁矿、沉积型菱铁矿等。矿体围岩主要包括中泥盆统老虎头组含砾砂岩、石英砂岩、粉砂岩,中泥盆统棋子桥组灰岩、白云岩、泥岩、凝灰岩、粉砂岩,上泥盆统天子岭组灰岩、白云质灰岩和下侏罗统

兰塘群砂页岩。大宝山矿区内出露的岩体主要为燕山期花岗闪长斑岩和次英安斑岩[图1(b)],前者与研究区多金属矿成矿关系密切,后者受NW-NNW向褶皱构造控制成弧形产出。该矿床围岩蚀变普遍而强烈,空间上自西向东,从北往南,有逐步减弱的趋势。主要蚀变类型有硅化、高岭土化、石英-黄铁矿-绢云母化等,其中石英-黄铁矿-绢云母化与成矿关系密切。

野外观测以及结合前人资料分析表明,大宝山矿区内构造主要以褶皱和断裂为主[图1(b)]。矿区内褶皱主要为大宝山向斜(成矿前期构造),轴面走向为NNW,延长约2 km。轴部为东岗岭组地层,东翼倾角较陡,西翼倾角较缓,呈不对称的狭长形产出[图1(c)]。矿区内断裂十分发育,主要以NW-NNW向和NE-NEE向为主。NW-NNW向断裂为区域性断裂同时控制着大宝山次英安斑岩的展布,并被NE-NEE向断裂错断[图1(b)]。这些褶皱和断裂为岩浆的侵入、矿液的运移、沉淀和改造提供了有利空间^[21, 27, 32]。

2 矿区构造特征

大宝山矿区构造变形具有多期次性,在一定程度上给找矿勘探带来了麻烦。为了详细了解大宝山矿区构造变形特征及其与成矿的关系,本次研究在大宝山矿区开展了1/万构造蚀变地质填图,通过测量各种在野外观测到的变形构造来收集宏观变形构造数据,如褶皱、石英脉、劈理、膝褶、断层等,同时分析他们之间的时空关系。野外露头观测以及室内构造分析一致表明,中生代大宝山矿区强烈变形的岩石中至少存在两期构造变形:第一期(D1)构造运动以NW-NNW褶皱和断裂为主,在大宝山矿区表现为成矿前构造(如大宝山向斜)。自褶皱、断裂形成之后,长期处于活动阶段,控制着矿区花岗闪长斑岩的侵入,野外观测表明在岩体和围岩之中发育有较多的次一级小型近南北向褶皱和断裂,其可能为印支期构造的继承性活动。第二期(D2)构造运动较为复杂,表现为成矿期(或成矿后期)构造,与成矿作用关系密切,本期构造活动主要发生在燕山运动早期,包括两组不同方向的构造。其中NNW向断裂构造不明显,但它控制着次英安斑岩的侵入和NNW走向上矿体的分布;另一组近EW向构造活动控制着船肚一大宝山花岗闪长斑岩的侵入以及其中一部分近东西向矿化石英脉的分布。

本文重点解剖了大宝山矿区构造现象最发育的861平台(图2)。861平台位于大宝山向斜的西翼,主要由泥盆系地层组成,其南北两端分别由次英安

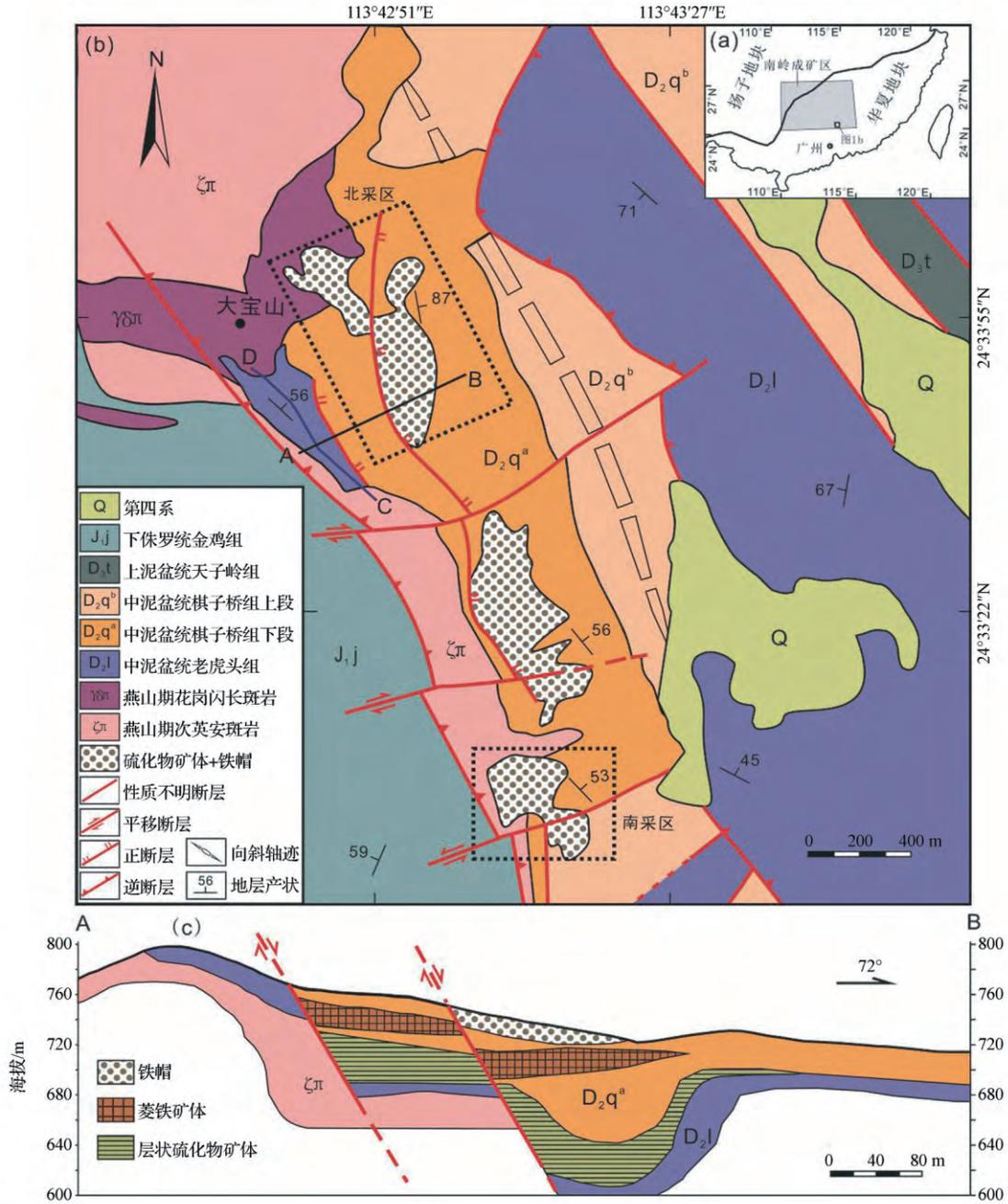
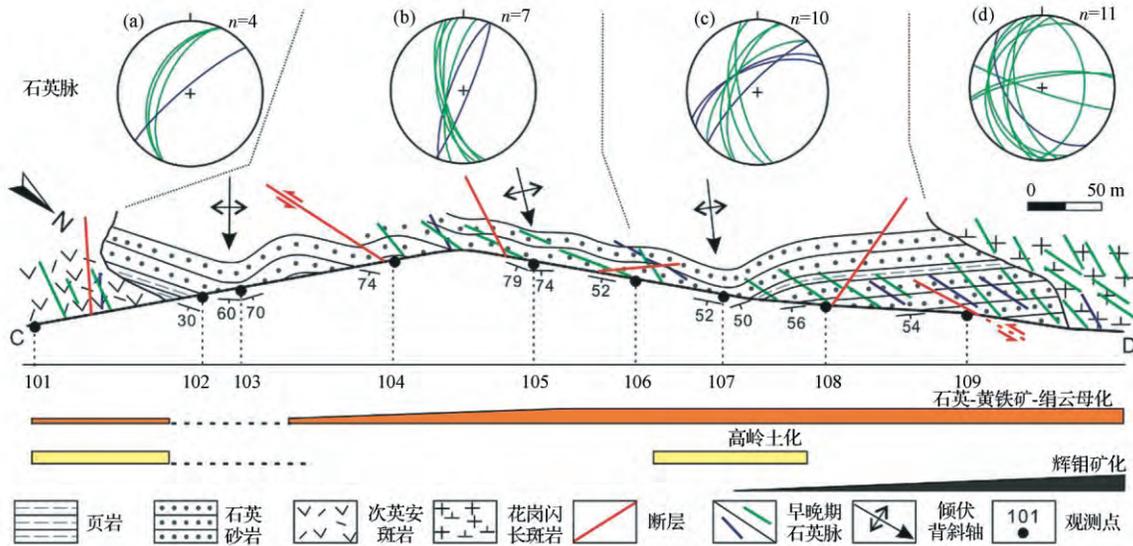


图 1 大宝山构造位置图 (a) 和构造纲要图 (b) 及横切剖面图 (c)
 Fig. 1 Location (a) and Structural sketch (b) of Dabaoshan and its sections (c)

斑岩和花岗闪长斑岩控制。褶皱较为发育,主要有两组方向: NW-NNW 向倾竖褶皱, NE-NEE 向斜卧至平卧褶皱。与褶皱作用有关的其他构造主要有石英脉、劈理、膝褶等,其具体构造特征及其相互间的关系将在后面的章节详细介绍。沿勘探线 C-D(图 2) 方向围岩普遍石英-黄铁矿-绢云母化,局部地段有高岭土化、辉钼矿化,其中石英-黄铁矿-绢云母化与矿化关系密切,蚀变强度向靠近花岗闪长斑岩岩体方向逐渐增强。

2.1 D1 期褶皱构造 (F1)

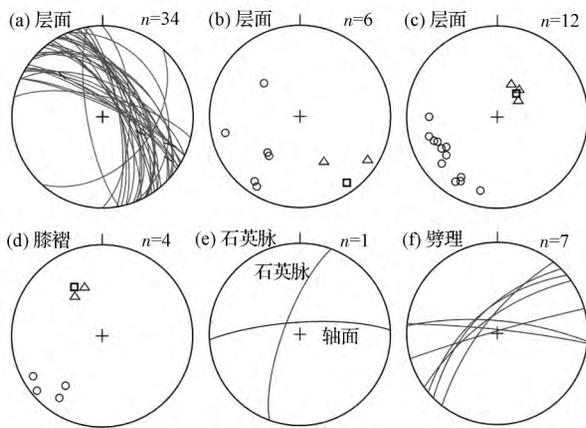
第一期构造运动主要形成以轴面走向为北西北北西向的褶皱为主,根据野外收集到的褶皱产状数据,利用赤平投影图进行投图分析,其轴面走向最佳拟合结果见图 3 (b)。除了在局部地段能见到与第一期褶皱作用伴生而成的膝褶外,在第一期变形阶段形成的褶皱并没有伴随其他可辨别的面理、线理或其他小尺度的变形构造。一部分原因可能是被后期变形作用叠加改造。此外,在这个阶段形成的褶皱由于遭受强烈的后期变形作用致使褶皱轴面大



对于石英脉数据,采用下半球、等面积投影。

图2 大宝山矿区 861 平台地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of 861 platform of Dabaoshan Mining Area



(a) 大圆弧代表层面,短线代表相应层面上的擦痕投影;(b)、(c)、(d) 圆点代表褶皱层面法线投影,三角形代表相应褶皱层面法线投影拟合结果,正方形代表所有层面法线投影最佳拟合结果;(e) 石英脉大圆弧代表与石英脉总体延伸方向平行面的投影,轴面大圆弧代表石英脉中厘米级褶皱轴面投影;(f) 大圆弧代表劈理面的投影

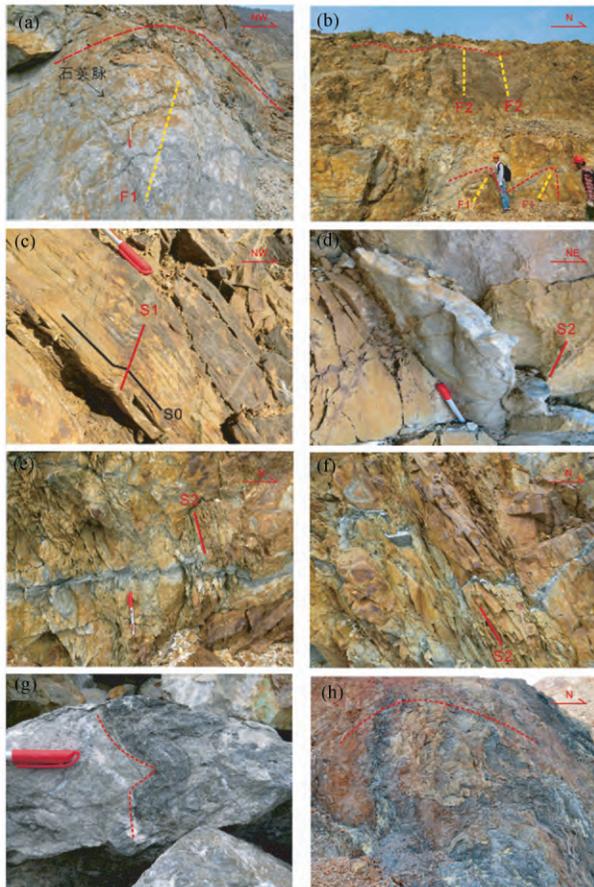
图3 沿大宝山矿区 861 平台测量的构造元素: 层理(a)、早期褶皱层理(b)、晚期褶皱层理(c)、膝褶(d)、石英脉褶皱(e)、劈理(f)

Fig. 3 Structural elements measured along the 861 platform of Dabaoshan Mining Area, including bedding(a), early folds(b), late folds(c), kink folds(d), quartz veins(e), cleavage(f)

多是斜歪的,局部地段轴面甚至接近水平。后期强烈变形作用的叠加与改造导致这个阶段的变形构造并不多见。主要能见到的是大宝山向斜[图 1(b)] 861 平台中段褶皱[图 4(a)、图 4(b)、图 5]及膝褶 S1 [图 4(c)]。大宝山向斜: 大宝山向斜在

大宝山区域出露较好[图 1(b)和图 1(c)]。其位于矿区的中东部。向斜轴部主要由东岗岭组地层组成,东翼产状较陡,倾角约 65°,西翼产状较缓,倾角约 45°,表现为不对称紧闭褶皱。大宝山向斜由两列近南北向断裂构造控制,其轴面走向为 NW-SE 向,北端向北东向发生折转,延长约 2 000 m,南端遭受强烈的风蚀作用而逐渐消失,是矿区内发育规模较大的褶皱,控制着矿区内岩体和矿体的产出和就位。研究区地层的总体分布受大宝山向斜的控制,但局部地层产状受后期岩体的侵入而发生变化。褶皱南北两端受到后期变形作用的叠加其轴面走向逐渐变为南北向。向斜的西翼有次英安斑岩、花岗闪长斑岩体侵入,矿化较为集中,其矿体也主要赋存于西翼呈北西到北北西向展布,表明矿体受到大宝山向斜构造的控制^[27],间接说明大宝山向斜形成于成矿之前;向斜的东翼东岗岭组地层与桂头群地层则呈断层接触关系。同时,在整个向斜内部发育有较多的次级褶曲构造,它们为后期的成矿创造了良好的空间条件。

861 平台褶皱 F1: 这些褶皱在区域上位于大宝山向斜的西翼,属于大宝山向斜次级褶曲构造。由于受后期褶皱叠加作用以及后期掘矿的影响而不多见。只在 861 平台的中段(观测点 D105)可见到石英砂岩地层褶皱[图 4(a)、图 4(b)、图 5(a)]。褶皱轴面走向为北西到北北西向,褶皱轴面由南向北变化较大,在南部表现为斜歪,向北逐渐表现为接近水平,在一定程度上反映了轴面受后期变形作用的叠加而发生偏转。褶皱翼间角多为 60°~70°,为紧



(a) 861 平台观测点 D106 附近近 SN 走向褶皱 (F1) 枢纽向 S 倾伏, 石英细脉穿插褶皱两翼; (b) 861 平台观测点 D105 附近宽缓褶皱 (F2) 轴面走向近 EW 向, 枢纽向 E 倾伏; (c) 861 平台观测点 D102 附近石英砂岩地层中膝褶现象, 轴面 NW-SE 向; (d) 861 平台观测点 D106 附近发育于石英砂岩中的石英脉形成厘米级等厚褶皱, 轴面走向近 EW 向, 褶皱转折端围岩中发育与轴面平行的劈理; (e) (f) 861 平台观测点 D108 附近石英砂岩中沿劈理面方向切割矿化石英脉现象; (g) 矿区矿石堆中观测到的早期褶皱被硅化; (h) 北采区观测到的晚期褶皱破坏矿体

图 4 大宝山矿区典型构造野外照片

Fig. 4 Photographs showing typical deformation structures observed in the field

闭斜歪褶皱。褶皱转折端较为圆滑, 未发生明显破裂。局部地段可见含辉钼矿石英脉穿插于褶皱两翼, 脉壁平整, 且石英脉未发生变形, 说明这期褶皱形成在含辉钼矿石英脉之前, 属于成矿前构造。极射赤平投影图显示褶皱轴走向为北西到北北西向 [图 3 (b)], 指示这期褶皱可能与 NE-SW 向挤压作用有关。

膝褶 (S1): 与褶皱 F1 伴生而形成的小构造野外露头 (观测点 D102) 观测到膝褶 [图 4 (c)] 现象。膝褶发育在石英砂岩中, 由平直两翼构成的不对称膝状褶皱, 平缓翼长、陡倾翼短, 具有尖棱狭窄的转折端, 其轴面近水平, 轴面走向为 NW-SE 向。室内

和野外观测一致表明, 膝褶转折端部位明显发生石英-黄铁矿-绢云母化且蚀变较为均匀, 膝褶形成于成矿之前。其产状赤平投影图 [图 3 (d)] 显示膝褶轴向方向与褶皱 F1 具有较好的对应关系, 从图中可以看出膝褶轴向为 NW-SE 向, 也指示可能与 NE-SW 向挤压作用有关。

2.2 D2 期褶皱构造 (F2)

第二期构造运动以近东西向构造为主, 主要形成轴面走向北东-北东东向褶皱为主, 根据野外收集到的褶皱产状数据, 利用赤平投影图进行投图分析, 其轴向最佳拟合结果见图 3 (c)。在这一构造变形阶段形成多个直立倾竖宽缓褶皱 F2 [图 4 (b)、图 5]。第二期变形作用强烈, 对早期变形构造进行了强烈的改造和叠加, 与第二期褶皱作用相关的劈理、石英脉及褶皱其时空关系明显。这些变形构造在大宝山矿区 861 平台 (图 2) 较好的出露, 下面将对这些构造现象进行详细的描述。

褶皱 F2: 位于 861 平台的褶皱 F2 [图 4 (b)] 大多发育在石英砂岩地层中, 以背形形式出露 (观测点 D105, D106)。轴面近直立, 轴面走向为北东到北东东向; 褶皱转折端为圆弧形状; 翼间角为 $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$; 褶皱枢纽未发生弯曲, 其枢纽倾伏角 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$; 大多为直立倾竖宽缓褶皱。局部地段即 861 平台观测点 D107 点位置附近, 可见褶皱 F2 叠加于褶皱 F1 之上 (图 5)。野外观测发现其层面上晚期擦痕线理已明显改造、叠加、覆盖早期擦痕线理, 其层面上的擦痕线理表现出和 F2 褶轴近垂直而与 F1 褶轴斜交。擦痕产状赤平投影图 [图 3 (a)] 结果也显示与野外观测结果一致, 表明褶皱 F2 晚于褶皱 F1 形成。极射赤平投影图结果显示褶皱 F2 其褶轴走向为北东向到北东东向 [图 3 (c)], 表明晚期褶皱 F2 可能与 NW-SE 向挤压作用有关。

石英脉: 本文对叠加褶皱位置 (观测点 D107) 附近前后的石英脉形态、产状、矿化等特征进行了详细的观测、测量及分析。石英脉普遍发育在石英砂岩地层中, 石英脉大多呈似层状产出, 延伸长度较长, 从几米到数十米不等。脉宽从几厘米到十几厘米不等, 脉壁较为平整。据野外石英脉切割关系观测, 石英脉主要有早晚两期石英脉。早期石英脉大多被蚀变, 依蚀变类型可分为黄铁矿脉和辉钼矿脉等两种, 晚期石英脉蚀变不明显。局部地段不仅能见到含辉钼矿石英脉被断层错断, 而且能看到含辉钼矿石英脉褶皱形成厘米级的石英脉褶皱 [图 4 (d)], 石英脉褶皱保存完好, 脉壁平滑, 等厚弯曲, 表明石英脉形成在断层、褶皱之前, 同时根据石英脉与蚀变的关系来看, 褶皱 F2 可能形成在成矿期或成

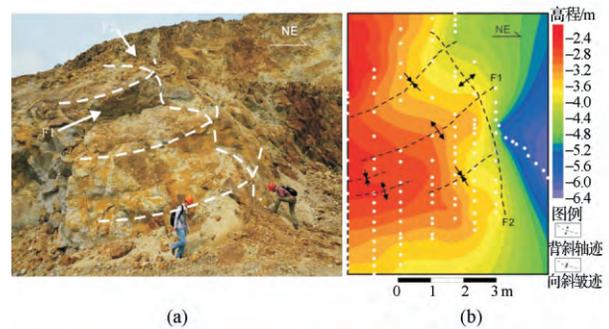
矿后。野外观测与石英脉产状极射赤平投影图 [图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)、图 2(d)] 结果一致显示石英脉走向在露头叠加褶皱(观测点 D107 附近) 前后变化较大,表明其可能受到后期褶皱作用的叠加而发生变化。石英脉褶皱产状赤平投影结果 [图 3(e)] 显示轴面走向近东西向,表明其可能与后期 NW-NNW 向挤压作用有关。

劈理 S2: 在研究区主要观测到一组方向的劈理 S2。其与褶皱 F2 应为同期构造活动变形产物,理由如下: 在观测点 D106 附近能较好的观测到他们之间的时空关系。据野外观测可知含辉钼矿石英脉发生弯曲形成小型直立褶皱 [图 4(d)], 石英脉厚度未发生明显变化,脉壁光滑未破裂,但在石英脉褶皱转折端部位可见到围岩强烈劈理化,劈理平行于轴面且切穿层理 [图 4(d)]。以上现象只有在褶皱 F2 和劈理 S2 同一时期形成才可以看到。同时研究区内观测点 D108 和 D109 附近可见早期含辉钼矿石英脉被沿劈理面方向发育的破裂面所切割 [图 4(e)、图 4(f)] 进一步证实劈理形成在早期含辉钼矿石英脉之后。劈理产状赤平投影图见图 3(f),从图中可以看出劈理走向为 NE-NEE 向与第二期褶皱 F2 有较好的对应关系,也表明可能与后期 NW-NNW 向挤压作用有关。

2.3 两期构造叠加方式

研究区内中生代构造变形具有多类型、多期次性。区内褶皱轴向和断层均主要呈北西到北北西向和北东到北东东向两个方向展布,北西到北北西向褶皱轴面变化较大由斜歪至水平不等,部分枢纽发生弯曲;北东到北东东向褶皱为直立倾竖宽缓褶皱,保存较好;总体显示北西到北北西向褶皱明显受到北东到北东东向褶皱的近横跨叠加改造。在研究区内 861 平台能较好的观测到两期变形构造的叠加现象,如 861 平台露头叠加褶皱 [图 5(a)] 就是最好的例子。数值模拟图 5(b) 较好的再现了两期褶皱横跨叠加现象。

已经褶皱的岩层再次弯曲变形所形成的褶皱,称为叠加褶皱,这是一种极为复杂的褶皱现象,在造山带中较为常见,其代表多期变形的结果。由于每期褶皱作用的规模、强度、方式、方位的不同,以及岩石类型与岩石力学性质的差异,致使叠加褶皱的形态非常复杂。大宝山矿区露头叠加褶皱作为研究华南地区叠加褶皱变形特征的一个实际例子,Ramsay^[2,33]对叠加褶皱干涉类型的经典分类可以作为本次叠加褶皱研究的一个参考。Ramsay^[33]根据早晚两期褶皱轴的夹角(α)以及早期褶皱轴面极线与晚期褶皱叠加运动方向的夹角(β)的变化,提出了



(b) 中白色圆点代表野外实测高程点

图 5 大宝山矿区 861 平台叠加褶皱野外图 (a) 及数值模拟图 (b)

Fig. 5 Photographs showing typical folds (a) and numerical simulation of superposed folds (b) in the field of 861 platform

四种经典的褶皱叠加方式及干扰类型: Type0: 无效叠加作用; Type1: 穹窿-盆地型式; Type2: 穹窿状-新月形-蘑菇状型式; Type3: 收敛-离散型式。

而在实际野外中,我们很少能见到上述几种情况的理想形态露头。究其原因有:

(1) Ramsay 提出的叠加构造是以二次叠加为基础的,理想形态,而实际上,在华南地区,往往具有多构造多期次特点。

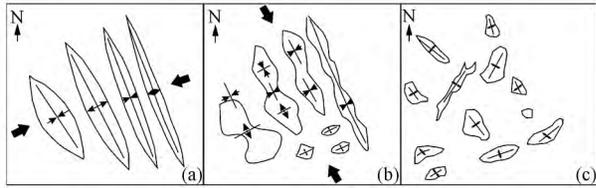
(2) 华南地区普遍植被覆盖良好,实际露头叠加褶皱较为少见,同时华南地区地质结构的不均一性,往往导致构造发育的不完整性与不规则性。

(3) 华南地区断裂较为发育。当一条断层形成之后,它往往成为这个地区的“内伤”,在下次构造活动中“复活”,区域构造应力场转变,就会发生构造转换,断层的性质、运动方向就会发生改变,就会对断块内的褶皱叠加过程与变形产生影响^[34]。

由前述章节可知研究区第一期变形阶段形成的轴面走向为北西到北北西向褶皱 F1 是叠加褶皱的早期褶皱,第二期变形阶段形成的轴面走向为北东到北东东向褶皱 F2 是叠加褶皱的晚期褶皱。早期褶皱 F1 褶皱轴面发生变化,枢纽发生弯曲,层面上擦痕线理与褶轴斜交,明显受到后期强烈变形作用的影响,即受到晚期褶皱 F2 叠加改造。根据研究区这种宏观区域构造穹窿盆地相间展布,以及露头尺度叠加构造样式特征,我们将研究区所发育的叠加构造样式归于 Ramsay 分类中的 Type1 类型,但又不完全相同,其叠加过程如图 6、图 7 所示。

3 讨论

以上提到的两期变形构造是了解大宝山矿区及



(a) 早期平面变形样式; (b) 晚期平面变形样式;
(c) 研究区现今平面变形样式

图6 研究区叠加褶皱平面示意图

Fig. 6 Simplified geological map of Dabaoshan Mining Area

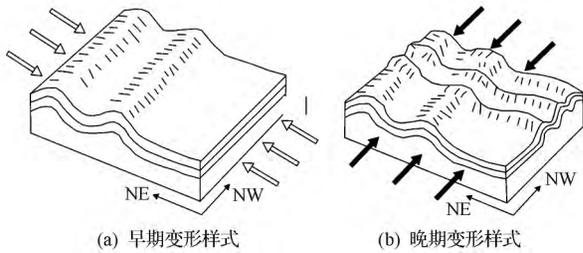


图7 研究区叠加褶皱理想化立体示意图

Fig. 7 Idealization simplified geological map of Dabaoshan Mining Area

华南地块中生代陆内构造演化历史的基础,在下面的章节将进行讨论。

3.1 叠加褶皱变形时代分析

叠加褶皱变形时代是比较难以准确限定的,但根据以上章节对多期变形构造的详细分析,相关石英脉辉钼矿地球化学年龄数据及区域上相关地质事件的年龄,基本可以限定两期构造变形发生的地质年代范围。

上述褶皱、石英脉、膝褶、劈理等变形构造的分析结果揭示早期北西到北北西向褶皱 F1 形成于含辉钼矿石英脉之前,晚期北东到北东东向褶皱形成于含辉钼矿石英脉之后。前人^[20, 22]对含辉钼矿石英脉中的辉钼矿年龄测试的结果约为 165 Ma,表明早、晚期褶皱分别形成 165 Ma 前后。

华南地区泥盆纪—三叠纪构造层的褶皱主要是印支褶皱^[35-42]。在研究区我们发现早期褶皱中的大宝山向斜卷入的最老地层为中泥盆统地层,被早燕山期(175 Ma)次英安斑岩体^[20]所侵入,表明早期褶皱构造的形成时代必然早于早燕山期。考虑到在印支运动早—中三叠世期间,东亚境内古特提斯洋的关闭使得华南地区内部发生强烈的构造—岩浆活动,导致泥盆纪构造层被强烈再造,形成大规模的早中生代褶皱,并使华南地区构造格架基本定型^[43]。此外,早古生代随着古特提斯洋的关闭,华南板块与华北板块发生陆陆碰撞作用,导致华南大陆发生广泛的陆内变形^[44-50]。早期的挤压造山作用导致华

南地区整体抬升,经历由海相环境向陆相环境的转换^[51],基底强烈韧性剪切,盖层发生褶皱和冲断变形^[43, 44]。印支运动陆内造山作用在华南地区形成的主要地质要素是近南北向逆冲断裂与褶皱,以及北西向基底走滑断裂。在南岭地区,印支期构造事件不仅使深部断裂复活,岩浆上涌^[52],形成众多 228 ~ 208 Ma 的强过铝花岗岩^[53],也使盖层和基底发生褶皱。在研究区内则表现为早—中三叠世期间受到来自北东到北东东向的挤压,形成北西到北西向褶皱与断裂,构成矿区内的构造格架。基于这种分析把矿区内 D1 期构造变形的形成时代初步限制在印支早期早—中三叠世。

矿区内燕山期(160 ~ 170 Ma)花岗闪长斑岩^[17, 19, 20]受 E-W 向构造的控制,从大区域南岭地区上来看,华南南岭地区分布面积大、发育极为广泛的燕山期花岗闪长斑岩的分布也是受东西向构造的控制,这类岩石是反映区域构造环境的代表性地质要素^[54]。研究表明这种花岗岩常作为同碰撞岩石圈加厚之后伸展垮塌、向非造山板内活动过度时期的岩浆作用产物出现^[55]。此外,南岭地区在侏罗世期间虽有过玄武质岩浆活动^[56],但呈东西向展布,明显受南岭东西向构造带的控制,已有研究表明其形成机制是太平洋板块俯冲于欧亚板块,使得早期近东西向断裂重新活化拉张所致^[57, 58]。因此,我们更倾向于这个时期的岩浆活动不是华南板块陆内裂解作用的结果^[59-62],而应是太平洋板块俯冲于欧亚板块之下引起的。在研究区则表现为早中侏罗世期间,由于板内变形作用岩浆活动强烈导致大宝山矿区受到北西到北北西向挤压作用的控制,形成一系列北东到北东东向宽缓褶皱,横跨叠加在早期褶皱之上,变形作用强烈,对 D1 期变形构造进行了强烈的改造和叠加。基于以上分析,将矿区内北东到北东东向褶皱(D2 期构造运动)的形成时代初步限制在燕山早期的中晚侏罗世之交(165 ~ 175 Ma)。这次构造变形作用在粤北乃至整个华南地区非常强烈,以压倒性优势对前期构造现象进行改造和叠加^[37, 63, 64]。

3.2 华南中生代陆内重褶的新认识

华南地区中生代构造动力体制经历了从特提斯构造域向滨太平洋构造域的转换,由此产生了强烈的岩浆活动和陆内造山作用,形成了复杂的构造组合型式。张岳桥等^[13, 14]就对华南地区发育的叠加褶皱做过区域上的分析,认为近东西向褶皱为早期褶皱,近南北向褶皱为晚期褶皱。对此,我们有不同的看法:

通过对华南地区中南岭带中段地区、湘中涟源

地区以及湖南南部骑田岭地区区域构造线的分析,这三个地区的叠加褶皱都表现为近横跨叠加^[13,44],结合本次对大宝山矿区实际露头横跨叠加褶皱的研究,证实了华南地区确实存在横跨型叠加褶皱。但问题是以上三个地区区域构造线^[13,44]显示近S-N向褶皱轴迹明显发生有规律的摆动或扭曲,普遍向西或向东呈弧形弯曲;众所周知,褶皱形成之后岩石普遍会发生硬化,再次褶皱较为困难,若褶皱必然会导致早期褶皱轴面或轴迹发生弯曲或变形;这种褶皱枢纽呈波形有规律的弯曲摆动,明显是后期近南北向挤压作用对前期形成的近东西向构造改造的结果,而不是早期形成的近东西向褶皱受到了晚期近N-S向褶皱构造叠加,褶皱轴面发生弧型弯曲或再褶皱的结果。因此,我们提出华南地区近S-N向褶皱应为叠加褶皱的早期褶皱,在燕山早期华南地区还存在近南北向挤压作用形成近E-W向褶皱,其可能为叠加褶皱中的晚期褶皱,晚期近E-W向褶皱近横跨叠加在早期近S-N向褶皱之上,可能是华南地区叠加褶皱的主要表现型式。而研究区实际露头叠加褶皱的研究也表明横跨叠加褶皱的早期褶皱为NW-NNW向,晚期褶皱为NE-NEE向,和我们的分析结果一致,进一步证实华南地区近S-N向褶皱应为早期褶皱,在晚期还存在近E-W向褶皱。近E-W向褶皱是很微弱的、零星的、极难被发现的,究其原因主要是早期褶皱限制了晚期褶皱的发育,只有在米级等较小的尺度上能观察到晚期褶皱现象;如在研究区就发现了米级的宽缓直立倾竖褶皱(D2期褶皱),更小尺度上则表现为紧闭褶皱。在大范围上则不存在,或者说很难被发现,主要是由于华南地区普遍植被覆盖良好,很难通过填图识别公里级别的褶皱。这种小尺度的褶皱近乎横跨叠加在早期褶皱之上,对比区域上褶皱构造样式,应该类似于Ramsay分类中的Type1型。本文构造分析结果怀疑张岳桥等人提出的华南地区叠加褶皱中近E-W向褶皱为早期褶皱,近S-N向褶皱为晚期褶皱。

3.3 叠加褶皱与成矿的关系

中生代中国东部发生了多期次强烈的构造-岩浆活动和大规模成矿作用^[65,66]。前人对大宝山矿区的成矿时代做过详细的研究,基本上都认为大宝山矿区的成矿时代为燕山早期^[17-19,22]与矿区内燕山期岩体活动密切相关。在矿区内灰岩层中发现灰岩层中发育紧闭尖棱状褶皱,褶皱全部被硅化[图4(g)];若硅化和前已述及的石英-黄铁矿-绢云母化密切相关的话,那么这期褶皱就必然形成于成矿前期,构成大宝山矿区构造格架,控制了矿体的产出和就位。受早期NNW向构造的控制,大宝山多金属

矿主要分布于斑岩岩体的东侧。根据构造控矿的原则,大宝山斑岩岩体NNW向应具有较大的找矿潜力,重点是岩体与泥盆纪碳酸盐岩接触带附近。在矿区内同时我们也发现层状矿体被褶皱破坏[图4(h)],说明这期褶皱形成于成矿之后,同时也揭示在矿区内成矿期、成矿后确实存在两期构造运动,在矿区内861平台就能见到两期构造较好的叠加,在构造叠加部位出现了石英脉辉钼矿化,可能说明燕山早期的岩浆活动是辉钼矿液的有利来源;而晚期NE-NEE向构造对矿体进行了改造。因此,推测在大宝山矿区及其外围找辉钼矿应该是:燕山早期岩浆岩出露或深部岩浆岩与围岩的接触带附近+NE向构造带+NW向构造与NE向构造叠加部位。

4 结论

(1) 首次确认了大宝山矿区发育露头尺度的叠加褶皱,由NW-NNW向斜歪紧闭褶皱与NE-NEE向直立宽缓叠加而成,其叠加类型类似于Ramsay分类中的Type1,是矿区内也是华南地区构造的经典变形样式。

(2) 基于多期变形构造分析、已有石英脉辉钼矿年龄数据以及区域构造事件的分析,研究区内叠加褶皱的形成是中生代华南板块陆内变形作用的产物,即在早-中三叠世构造应力场作用下,大宝山矿区受到北东到北东东向的挤压,形成北西到北西西向褶皱与断裂,构成矿区内的构造格架;在中晚侏罗世大宝山矿区受到北西到北西向挤压作用的控制,形成一系列北东到北东东向宽缓褶皱,叠加在早期褶皱之上。两期褶皱横跨叠加,是华南地区叠加褶皱的主要表现型式。

(3) 对大宝山矿区露头叠加褶皱变形特征的分析及结合区域褶皱构造线的分析,我们提出华南地区横跨型叠加褶皱中近南北向褶皱为早期(印支期)褶皱,近东西向褶皱为晚期(燕山期)褶皱。

(4) 燕山期岩浆活动为大宝山多金属矿床的形成提供了重要的铜铅锌钨钼硫等物质来源。矿体受早、晚期构造的控制,按构造控矿的原则,晚期NE-NEE向构造带以及早、晚期构造叠加的部位是找辉钼矿的有利方向。

参 考 文 献

- 1 Ramsay J G. Interference patterns produced by the superposition of folds of similar type. *The Journal of Geology*, 1962; 71: 466—481
- 2 Ramsay J G, Huber M I. *The techniques of modern structural geology. Vol. 2, Folds and Fractures.* London: Academic Press. 1987: 176—207
- 3 Thiessen R L, Means W D. Classification of fold interference pat-

- terns: a reexamination. *Journal of Structural Geology*, 1980; 2(3): 311—316
- 4 Ghosh S K, Ramberg H. Buckling experiments on intersecting fold patterns. *Tectonophysics*, 1968; (5): 89—105
- 5 Ghosh S K, Mandal N, Khan D, *et al.* Modes of superposed buckling in single layers controlled by initial tightness of early folds. *Journal of Structural Geology*, 1992; (14): 381—394
- 6 乐光禹 杜思清 黄继钧. 构造复合联合原理. 成都: 成都科技大学出版社, 1996: 15—42
Le G Y, Du S Q, Huang J J. The principle of joint compound structure. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1996: 15—42
- 7 杜思清. 纵弯褶皱叠加作用与叠加类型. 理工科技新进展. 成都: 四川科学技术出版社, 1996: 48—58
Du S Q. Superimposition and superimposing type in superposed buckle folding. *Science and Technology Science and Technology Progress*. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishers, 1996: 48—58
- 8 汤加富 王希明 刘芳宇. 武功山变质岩区构造变形与地质填图. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 1—133
Tang J F, Wang X M, Liu F Y. Tectonic deformation and geological mapping in Wugongshan metamorphic zone. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 1—133
- 9 黄继钧. 纵弯叠加褶皱地区岩石有限应变特征——以川东北地区典型叠加褶皱为例. *地质评论* 2000; 46(2): 178—185
Huang J J. The features of finite strain of rocks in the superposition fold area under buckling in Northeast Sichuan Province. *Geological Review* 2000; 46(2): 178—185
- 10 张文佑. 构造物理模拟实验图册. 北京: 科学出版社, 1985: 196—215
Zhang W Y. Structure simulation atlas. Beijing: Science Press, 1985: 196—215
- 11 贾精一. 叠加褶皱的构造格架的基本类型. *中国区域地质*. 1983; (4): 31—37
Jia J Y. Superimposed fold tectonic framework of the regional geological basic types of China. *Regional Geology of China*, 1983; (4): 31—37
- 12 李四光. 地质力学. 北京: 科学出版社. 1973: 1—93
Li S G. Geomechanics. Beijing: Science Press. 1973: 1—93
- 13 张岳桥 徐先兵 贾东 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录. *地学前缘* 2009; 16(1): 234—247
Zhang Y Q, Xu X B, Jia D, *et al.* Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 2009; 16(1): 234—247
- 14 张岳桥 董树文 李建华 等. 华南中生代大地构造研究新进展. *地球学报* 2012; 33(3): 257—279
Zhang Y Q, Dong S W, Li J H, *et al.* The new progress in the study of mesozoic tectonics of South China. *Journal of Earth*, 2012; 33(3): 257—279
- 15 王建 李三忠 金宠 等. 湘中地区穹盆构造: 褶皱叠加期次和成因. *大地构造与成矿学* 2010; 34(2): 159—165
Wang J, Li S Z, Jin C, *et al.* Dome and basin pattern in central Hunan province: Stages and Genesis of fold superposition. *Geotectonica et Metallogenia* 2010; 34(2): 159—165
- 16 徐先兵 张岳桥 贾东 等. 华南早中生代大地构造过程. *中国地质* 2009; 36(3): 573—593
Xu X B, Zhang Y Q, Jia D, *et al.* Early mesozoic geotectonic processes in South China. *Geology in China* 2009; 36(3): 573—593
- 17 毛伟 李晓峰 杨富初. 广东大宝山多金属矿床花岗岩锆石 LA-P-MS U-Pb 定年及其地质意义. *岩石学报* 2013; 29(12): 4104—4120
Mao W, Li X F, Yang F C. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granites at Dabaoshan polymetallic deposit and its geological significance. *Guangdong, South China. Acta Petrologica Sinica*, 2013; 29(12): 4104—4120
- 18 蔡锦辉 韦昌山 张燕挥 等. 广东省大宝山钼多金属矿区岩浆岩成岩时代研究. *华南地质与矿产* 2013; 29(2): 146—155
Cai J H, Wei C S, Zhang Y H, *et al.* Zircon U-Pb ages of magmatic rocks of Dabaoshan molybdenum-polymetallic deposit, Guangdong province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2013; 29(2): 146—155
- 19 刘莎 王春龙 黄文婷 等. 粤北大宝山斑岩钨矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄与矿床形成动力学背景分析. *大地构造与成矿学* 2012; 36(3): 440—449
Liu S, Wang C L, Huang W T, *et al.* LA-ICP-MS Zircon U-Pb age and dynamic background of the Dabaoshan porphyry associated with Mo-W mineralization in Northern Guangdong province. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012; 36(3): 440—449
- 20 王磊 胡明安 杨振 等. 粤北大宝山矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地球科学(中国地质大学学报)* 2010; 35(2): 175—185
Wang L, Hu M A, Yang Z, *et al.* Geochronology and its geological implications of LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating of granodiorite porphyries in Dabaoshan polymetallic ore deposit, Northern Guangdong province. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2010; 35(2): 175—185
- 21 王磊 胡明安 屈文俊 等. 粤北大宝山多金属矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义. *中国地质* 2012; 39(1): 29—42
Wang L, Hu M A, Qu W J, *et al.* Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in Northern Guangdong province and its geological implications. *Geology in China*, 2012; 39(1): 29—42
- 22 杜国民 梅玉萍 蔡红 等. 粤北大宝山钨钼多金属矿床年代学研究及其意义. *华南地质与矿产* 2012; 28(3): 226—231
Du G M, Mei Y P, Cai H, *et al.* Geochronology research and its significance for Mo-W polymetallic deposit of Dabaoshan Mountain in Northern Guangdong province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2012; 28(3): 226—231
- 23 祝新友 韦昌山 王艳丽 等. 广东大宝山钨钼多金属矿床成矿系统与找矿预测. *矿产勘查* 2011; 2(6): 661—668
Zhu X Y, Wei C S, Wang Y L, *et al.* The metallogenic system and the prognosis, Dabaoshan Mo-Cu-Pb-Zn deposit, Guangdong province. *Mineral Exploration*. 2011; 2(6): 661—668
- 24 王要武. 大宝山矿区地层及含矿层序几个问题初步探讨. *南方金属* 2011; (5): 23—25
Wang Y W. A preliminary investigation of the formation sequence of the strata and ore-bearing layers in Dabaoshan mine. *Southern Metals*, 2011; (5): 23—25

- 25 宋世明, 胡凯, 蒋少涌, 等. 粤北大宝山多金属矿床成矿流体的 He-Ar-Pb-S 同位素示踪. 地质找矿论丛, 2007; 22(2): 87—99
Song S M, Hu K, Jiang S Y, *et al.* The He-Ar-Pb-s isotope tracing on ore-forming fluid in Dabao hill polymetallic deposit, Northern Guangdong. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2007; 22(2): 87—99
- 26 宋世明. 广东大降坪和大宝山硫化物矿床多元同位素与稀土元素地球化学示踪研究. 南京: 南京大学, 2011
Song S M. Multi-isotopic and REE geochemistry on tracing formation of the Dajiangping and Dabaoshan sulfide ore deposits in Guangdong province, South China. Nanjing: Nanjing University, 2011
- 27 王建新. 广东大宝山南部铅-锌多金属矿床地质特征及找矿方向. 矿产与地质, 2006; 20(2): 142—146
Wang Jianxin. Geological characteristics and ore prospecting orientation of lead zinc polymetallic deposit in South Dabaoshan, Guangdong. Mineral Resources and Geology, 2006; 20(2): 142—146
- 28 孙东, 刘树根, 邓宾, 等. 米仓山与龙门山接合部叠加褶皱特征及构造演化. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011; 38(2): 156—168
Sun D, Liu S G, Deng B, *et al.* Superposed fold characteristics and structural evolution in the junction area of Longmenshan Mountains and Micang Mountains in the southwest of China. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011; 38(2): 156—168
- 29 张忠义, 董树文. 大巴山西北缘叠加褶皱研究. 地质学报, 2009; 83(7): 923—936
Zhang Z Y, Dong S W. Superposed buckle folding in the Northwestern Dabashan Mountain, Central China. Acta Geologica Sinica, 2009; 83(7): 923—936
- 30 吴德超, 刘家铎, 刘显凡, 等. 黔西南地区叠加褶皱及其对金矿成矿的意义. 地质与勘探, 2003; 39(2): 16—20
Wu D C, Liu J D, Liu X F, *et al.* The superposed folds and the importance of mine field tectonic in Southwestern Guizhou. Geology and Prospecting, 2003; 39(2): 16—20
- 31 田作基. 沉积岩区叠加褶皱及其成因机制. 西北地质, 1994; 15(1): 5—10
Tian Z J. Superposed folds and its mechanism in sedimentary area. Northwestern Geology, 1994; 15(1): 5—10
- 32 邱世强. 关于大宝山层状多金属矿床成因的初步探讨. 地质论评, 1981; 27(4): 333—340
Qiu S Q. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan stratiform polymetallic deposit. Geological Review, 1981; 27(4): 333—340
- 33 Ramsay J G. Folding and fracturing of rocks. New York: McGraw-Hill, 1967: 568
- 34 李学刚. 黔西南中生代构造变形特征及其叠加方式. 北京: 中国地质大学, 2012
Li X G. Mesozoic structural deformation characteristics and superposition pattern in Southwest Guizhou, China. Beijing: China University of Geosciences, 2012
- 35 万天丰. 中国大地构造学纲要. 北京: 地质出版社, 2004: 118—134
Wan T F. The tectonics of China. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 118—134
- 36 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1980: 1—124
Ren J S, Jiang C F, Zhang Z K, *et al.* The geotectonic evolution of China. Beijing: Science Press Ltd, 1980: 1—124
- 37 任纪舜. 论中国南部的大地构造. 地质学报, 1990; 64(4): 275—288
Ren Jishun. On the geotectonics of Southern China. Acta Geologica Sinica, 1990; 64(4): 275—288
- 38 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带不是华南地台. 中国科学(B辑), 1987; (10): 1107—1115
Xu J H, Sun S, Li J L. South China orogen or South China platform. Science in China (Series B), 1987; (10): 1107—1115
- 39 许靖华. 弧后碰撞造山作用及其大地构造相. 南京大学学报(地球科学), 1994; 6(1): 1—12
Xu J H. Back-arc collision orogeny and tectonic phase. Journal of Nanjing University (Earth Science), 1994; 6(1): 1—12
- 40 黄汲清. 中国主要地质构造单位. 黄汲清著作选集(第三卷). 北京: 地质出版社, 1945: 11—97
Huang J Q. China's major tectonic units. Huang Jiqing book anthology (Volume III). Beijing: Geological Publishing House, 1945: 11—97
- 41 黄汲清. 中国地质构造基本特征的初步总结. 黄汲清著作选集(第三卷). 北京: 地质出版社, 1960: 98—129
Huang J Q. Preliminary summary of the geological structure of the basic characteristics of China. Huang Jiqing book anthology (Volume III). Beijing: Geological Publishing House, 1960: 98—129
- 42 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓. 地质学报, 1977; 51(2): 117—135
Huang J Q, Ren J S, Jiang C F, *et al.* An outline of the tectonic characteristics of China. Acta Geologica Sinica, 1977; 51(2): 117—135
- 43 舒良树. 华南构造演化的基本特征. 地质通报, 2012; 31(7): 1035—1053
Shu L S. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block. Geological Bulletin of China, 2012; 31(7): 1035—1053
- 44 Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, *et al.* Structural signatures and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block. Journal of Structural Geology, 2005; 27(6): 985—998
- 45 Wang Y J, Fan W M, Cawood P A, *et al.* Indosinian high-strain deformation for the Yunkaidashan tectonic belt, South China: kinematics and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints. Tectonics, 2007; 26(6): 229—247
- 46 Xiao G O, He H Q. Early Mesozoic thrust tectonics of the Northwest Zhejiang region (Southeast China). Geol Soc Am Bull, 2005; 117: 1—17
- 47 Lin W, Wang Q C, Chen K. Phanerozoic tectonic of South China block: new insights from the polyphase deformation in the Yunkai massif. Tectonics, 2008; 27(6): 226—227
- 48 Zhang K J, Cai J X. NE-SW-trending Hepu-Hetai dextral shear zone in Southern China: Penetration of the Yunkai promontory of South China into Indochina. Journal of Structural Geology, 2009; 31: 737—748
- 49 Li S Z, Kusky T M, Zhao G C, *et al.* Two-stage Triassic exhumation of HP-UHP terranes in the Dabie orogen of China: constraints

- from structural geology. *Tectonophysics*, 2010; 490: 267—293
- 50 Zhang Q, Wang Y, Qian Q, *et al.* The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from Eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 2001; 17: 236—244
- 51 Tong J N, Yin H F. The lower Triassic of South China. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2002; 20: 803—815
- 52 任纪舜 牛宝贵 和政军 等. 中国东部的构造格局和动力演化. 北京: 原子能出版社, 1998: 1—11
Ren J S, Niu B G, He Z J, *et al.* Tectonic framework and evolution of power in Eastern China. Beijing: Atomic Energy Press, 1998: 1—11
- 53 孙 涛 周新民 陈培荣 等. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. *中国科学 (D 辑)*, 2003; 33 (12): 1209—1218
Sun T, Zhou X M, Chen P R, *et al.* Nanling Eastern Mesozoic granites cause stronger than aluminum and its tectonic significance, *Science in China (Series D)*, 2003; 33(12): 1209—1218
- 54 柏道远 黄建中 李金冬 等. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束. *大地构造与成矿学*. 2007; 31(1): 1—13
Bai D Y, Huang J Z, Li J D, *et al.* Multiple geological elements constraint on them esozo ic tectonic evolution of South China: apocalypse of the Mesozoic geological evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007; 31(1): 1—13
- 55 Liegeois J P, Navez J, Hertogen J. Contrasting origin of post-collisional high-alka line and shoshonitic versus alka-line and peralka line granitoids: the use of sliding norm alization. *Lithos*, 1998; 45: 1—28
- 56 华仁民 陈培荣 张文兰 等. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景. *高校地质学报* 2005; 11(3): 291—304
Hua R M, Chen P R, Zhang W L, *et al.* Metallogenesis and their geodynamics settings related to Mesozoic granitoids in the Nanling Range. *Geological Journal of China Universities*, 2005; 11(3): 291—304
- 57 谢 昕 徐夕生 邹海波 等. 中国东南部晚中生代大规模岩浆作用序幕: J2 早期玄武岩. *中国科学 (D 辑)*, 2005; 35(7): 587—605
Xie X, Xu X S, Zou H B, *et al.* China Southeastern Late Mesozoic magmatism prelude to large-scale: J2 Early Basalt. *Science in China (Series D)*, 2005; 35(7): 587—605
- 58 邢光福 杨祝良 毛建仁 等. 东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义. *地质通报* 2002; 21(7): 384—391
Xin G F, Yang Z L, Mao J R, *et al.* Characteristics of Early Jurassic igneous rocks on the continental margin of Southeastern China and their tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 2002; 21(7): 384—391
- 59 Li X H, Li Z X, Li W X, *et al.* U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I-and A-type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flatslab. *Lithos*, 2007; 96: 186—204
- 60 Chen P R, Hua R M, Zhang B T, *et al.* Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling Region Petrological constraints and geodynamic settings. *Science in China (Series D)*, 2002; 45(8): 755—768
- 61 Xie X, Xu X S, Zou H B, *et al.* Early J2 basalts in S E China: Incipience of large-scale Late Mesozoic magmatism. *Science in China (Series D)*, 2006; 49(8): 796—815
- 62 Hua R M, Chen P R, Zhang W L, *et al.* Metallogenesis and their geodynamic setting related to Mesozoic granitoids in the Nanling Range. *Geological Journal of China Universities*, 2005; 11(3): 291—304
- 63 Huang T K. On major tectonic forms of China. *Geological Memoirs*, Serial A, 1945; 20: 1—165
- 64 任纪舜. 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义. *地球学报*, 1984; 6(2): 31—42
Ren J S. The Indosinian orogeny and its significance in the tectonic evolution of China. *Journal of Earth*, 1984; 6(2): 31—42
- 65 毛景文 华仁民 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区预测. *矿床地质*, 1999; 18(4): 291—299
Mao J W, Hua R M, Li X B. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposits*, 1999; 18(4): 291—299
- 66 毛景文 王志良. 中国东部大规模成矿作用时限及其地球动力学背景的初步探讨. *矿床地质* 2000; 19(4): 289—296
Mao J W, Wang Z L. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in East China. *Mineral Deposits*, 2000; 19(4): 289—296

Mesozoic Superimposed Folds and Its Implications in Dabaoshan Polymetallic Ore Deposit North Guangdong Province

TAN Zhi-jun^{1 2}, SHAN Ye-hua¹, LIANG Xin-quan¹, ZHANG Xiao-qiong^{1 2}, NI Yong-jin^{1 2}

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences¹, Guangzhou 510640, P. R. China;

University of Chinese Academy of Sciences², Beijing 100049, P. R. China)

[Abstract] Dabaoshan polymetallic deposit is located at the middle part of the Nanling granite belt, South China, which is a famous large deposit with a long history of mining. There has been at least two generations fold during Indosinian–Yanshanian, which records distinctly its history of tectonic evolution and is beneficial to research on tectonic regimes conversions. Based on the investigate of folds, quartz vein, cleavage and kink folds and analysis of structural deformation process in the ore areas, we can identify two generations of superimposed folds. The earlier NW–NNW trending fold relatively closed is oblique fold, while the later NE–NEE trending fold comparatively wide is erect plunging fold. Combined with the analysis of the large area structure line of fold, we put forward that the earlier fold axial of superimposed fold should be nearly north–south and the later fold axial should be nearly east–west in the South China. By paying attention to the multiphase deformation tectonic intersection relations and quartz–molybdenite veins age data at the mining area and related geological events in the region, we concluded that the superimposed folds of the ore area recorded the Dabaoshan polymetallic deposit and intra–continental deformation event in South China of the Mesozoic. The NW–NNW folds were the result of tectonics and magmatic activities of South China during early Indosinian, while the NE–NEE trending folds were originated from the South China block internal cracking effect in early Yanshanian, rather than the subduction of the Pacific plate beneath the Eurasian plate. To study on superposed deformation of Dabaoshan ore areas bears on importance for research on superposed folds in this region, and takes an instructive action on polymetallic of the Northern Guangdong.

[Key words] superposed folds deformation of intra–continental interference type tectonic evolution
Dabaoshan