

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.04.005

# 长江中下游九瑞矿集区彭山岩浆核杂岩隆起-拆离带成矿构造特征

晁会霞<sup>1,2</sup>, 杨兴科<sup>1,2\*</sup>, 吕古贤<sup>1,3</sup>, 崔文玮<sup>1</sup>, 张宝林<sup>4</sup>, 雷万杉<sup>1,2</sup>

CHAO Huixia<sup>1,2</sup>, YANG Xingke<sup>1,2\*</sup>, LYU Guxian<sup>1,3</sup>, CUI Wenwei<sup>1</sup>, ZHANG Baolin<sup>4</sup>, LEI Wanshan<sup>1,2</sup>

1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054;

3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

**摘要:**九瑞矿集区属于长江中下游成矿带的组成部分。彭山多金属矿田位于九瑞矿集区的南部,蕴藏着丰富的矿产资源,但其构造样式还存在争议。通过地质特征、地球物理特征等综合分析,提出彭山矿田受控于岩浆核杂岩构造,岩浆核杂岩隆起-拆离带构造的核心由燕山中期隐伏的隆起即椭圆状花岗岩类侵入岩体构成,并在燕山晚期定型。外围沉积岩呈穹窿状、带状围绕彭山岩浆核杂岩展布。周围的断裂带倾向背离该岩浆核杂岩,呈铲状分布,反映出拆离构造的特征。彭山矿田以花岗岩体为中心,向四周出现高温矿种向低温矿种变化的矽矿(毒砂)-锡矿-铅锌矿-萤石矿-重晶石矿等“晕圈型”的矿带类型,亦均是沿着多层次滑脱拆离断层矿物富集的结果,矿化作用在岩浆核杂岩的内外接触带产生,最终在构造应力的松弛阶段形成矽卡岩型、斑岩型、热液脉状等锡-铅锌多金属矿床。

**关键词:**岩浆核杂岩;燕山期;九瑞矿集区;彭山;矿产勘查工程

**中图分类号:**P54;P618 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)04-0554-12

**Chao H X, Yang X K, Lyu G X, Cui W W, Zhang B L, Lei W S. Tectonic metallogenic characteristics of Pengshan magmatic core complex upheaval-detachment structure in Jiurui ore concentration area along the middle and lower reaches of Yangtze River. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(4): 554-565**

**Abstract:** Jiurui ore concentration area is an important part of the middle and lower reaches of Yangtze River metallogenic belt. The study area of Pengshan polymetallic ore field is located in the south of Jiurui ore concentration area, which is rich in mineral resources, but the structural pattern is controversial. In this paper, based on the comprehensive analysis of geological and geophysical characteristics, it is proposed that Pengshan ore field is controlled by the structure of magmatic core complex, and the core of Pengshan magmatic core

收稿日期:2022-07-27;修订日期:2022-09-16

资助项目:国家自然科学基金项目《豫西熊耳山变质核杂岩的形成演化及其对金银成矿的控制作用》(批准号:42173028)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目《利用飞秒激光质谱研究钨矿蚀变带的微量元素分异及找矿标志——以南秦岭棋盘沟钨矿为例》(编号:2023-JC-YB-276)、中国地质调查局项目《长江中下游基底结构与导矿-控矿要素研究》(编号:1212016813051)

作者简介:晁会霞(1979-),女,博士,讲师,从事矿床学、矿产勘查学方面的教学、科研。E-mail:chaohuixia1@163.com

\* 通信作者:杨兴科(1961-),男,教授,博士生导师,从事矿田构造、地球系统科学及成矿预测的教学和科研。E-mail:xky6105@chd.edu.cn

complex upheaval-detachment structure is composed of elliptical granitoid intrusive rock mass, which was a hidden uplift in the middle Yanshanian period and was shaped in the late Yanshanian period. The peripheral shallow sedimentary rocks are in a domed zonal distribution around the magmatic core complex. The peripheral fault zone tends to deviate from the direction of magmatic core complex and shows a shovel distribution, indicating the detachment structure characteristics. The halo type ore belt types of Pengshan ore field, with the concealed granitic body in the core as the center, the change of high temperature ore to low temperature ore occurs in the surrounding, such as arsenite(arsenopyrite)-tin ore - lead-zinc ore - fluorite ore - barite ore and so on, which is also the result of mineral enrichment along the multi-level detachment faults, and the mineralization occurs in the inner and outer contact zone of the magmatic core complex, forming skarn type, porphyry type and hydrothermal vein type Sn-Pb-Zn polymetallic deposits in the structural relaxation stage.

**Key words:** magmatic core complex; Yanshanian; Jiurui ore concentration area; Pengshan; mineral exploration engineering

九瑞矿集区是长江中下游成矿带的重要组成部分,具有优越的成矿条件。彭山矿田位于矿集区武山、城门山矿田的南部,主体位于下扬子拗陷带的九江拗陷中,南邻江南隆起,北接淮阳隆起,处于构造的转折部位。多年来,九瑞矿集区吸引了大批地质学者及专家对其进行了多方面的工作和研究,取得了很多有价值的地质成果(崔斌等,1992;毛景文等,2006;董树文等,2011;常印佛等,2012;所颖萍等,2013;徐耀明等,2013;张勇等,2016;蒋少涌等,2019)。刘南庆等(2011)指出,九瑞地区的铜、金多金属矿田和彭山地区的锡、铅锌多金属矿田,均产在特定的地质构造环境中。朱清波等(2012)认为,在不同的时期、不同的大地构造背景下,各种类型的滑脱构造在九瑞地区均有发育,主要有侏罗纪晚期—早白垩世初挤压型滑脱构造、早白垩世初期(140 Ma)伸展型拆离滑脱构造、早白垩世晚期(113 Ma)重力滑脱构造。前人对彭山岩体进行了年龄、地球化学特征方面的相关研究(马长信,1989;刘南庆等,1994;卢树东等,2004),认为彭山地区多金属矿产呈晕圈型分布的主要原因是构造运动与岩浆活动的耦合。前人利用重、磁、电综合物探技术也在彭山地区的深部勘查中开展了工作(陈后扬等,2018;徐浩等,2021)。迄今为止,关于彭山的构造样式还存在一定的争议,马长信(1989)认为它是一个典型的高挥发花岗岩底辟穹窿构造;刘南庆等(1994)将其厘定为变质核杂岩构造。因此,彭山矿田的构造运动机制及构造与成矿的关系等尚需进一步深入探讨。

多个造山带金属矿田和多矿种能源盆地的研究表明,主成矿期关键矿产大规模成矿聚集的重要控制作用与矿田的岩浆-热力构造类型密切相关,如各类热液型(岩浆期后高中低温热液型、热液

交代型)、岩浆侵入体型(斑岩型、矽卡岩型、岩浆热穹窿型)、更深部壳幔混源岩浆通道型、小岩体成矿型、壳幔混合成矿型、地幔热柱型等(杨兴科等,2005;2015)。在岩浆热穹窿或岩浆核杂岩等壳幔岩浆-热力构造成矿过程中,常会形成重要矿床类型或超大型矿床。

岩浆核杂岩(Magmatic Core Complex)是近年来提出的一类控岩控矿构造新类型。是具有多种来源、不同岩浆演化序列及复杂成因的一套岩体组合(吕古贤等,2016)。刘俊来等(2002)分析了辽吉岩浆核杂岩及其成因,吕古贤等(2015;2016;2019)对胶东金矿田的岩浆核杂岩与金成矿关系进行了探讨,刘细元等(2016)将江西中部武功山地区发育的穹窿状地质体厘定为岩浆核杂岩。笔者在九瑞矿集区发现彭山矿田中穹窿状地质体的结构组成、形成机制不同于经典的变质核杂岩,认为彭山地区在燕山期,中酸性岩浆底辟强力侵位,形成以花岗岩为核心的穹窿状地质体,构成彭山岩浆核杂岩的基本框架,其成因机制主要是岩浆底辟强侵位引起的局部地壳抬升和伸展滑覆。因此,本文从岩浆核杂岩这一新的控矿构造研究视角,对九瑞矿集区彭山矿田的锡铅锌多金属矿床的控矿构造模型、岩浆热液顺层拆离-热液交代成矿等进行综合研究和建模预测。

## 1 区域地质背景

位于长江中下游地区的九瑞矿集区,是中国东部环太平洋燕山期关键矿产铁、铜、金成矿带的重要组成部分之一。该区北与淮阳地体隔江相望,南邻江南地体,处于长江中下游拗陷转折端,属长江中下游成矿带,分布有众多大中型矿床,如城门山、武山、丁家山、彭山等金属矿床(图1)。城门山、丁

家山、武山矿区紧靠北西西向长江深大断裂带附近的构造-岩浆岩带,发育斑岩型和矽卡岩型铜、钼矿化(董平等,1995;Ding et al,2006;罗小洪,2006;李进文等,2007;徐积辉,2007;Yang et al,2011;许红光等,2017;张磊等,2021)。彭山矿区则是以燕山期侵入花岗岩体为中心,围绕隐伏的岩浆热隆起分布,构成晕圈式的铅锌、锡矿化带(刘南庆等,2011;温小明等,2017;段谟琳,2020)。

九瑞矿集区主体为一束向南弯曲的弧形褶皱和断裂带,总体呈NE向展布,向NW方向收敛,具完美的帚状特征。区域东北部发育一系列NNE向的反“S”形褶皱断裂带,庐山东南麓在星子砥柱构造的基础上形成变质核杂岩,彭山的“S型”短轴背斜则在花岗岩侵入作用下形成了穹窿构造和环状滑脱带(图1)。

彭山矿田地处于下扬子板块九江拗陷南部,其构造格架为:近EW向九江-瑞昌褶断带南缘叠加呈NNE向伸展的穹窿构造,区内发育环弧状层间滑脱断裂带。彭山矿田出露地层以震旦系、寒武系、奥陶系为主,其次是志留系。中元古界双桥山群( $Pt_2sh_1$ )浅变质岩仅分布在穹窿中心的刘家山和南缘乌石门地区。穹状褶皱核部主要由震旦系洞门组( $Z_1d$ )、南陀组( $Z_1n$ )、陡山沱组( $Z_2d$ )、灯影组( $Z_2dn$ )组成;翼部主要为寒武系王音铺组( $\epsilon_{1w}$ )、观音堂组( $\epsilon_{1g}$ )、杨柳岗组( $\epsilon_{2y}$ )、华严寺组( $\epsilon_{3h}$ )、西阳山组( $\epsilon_{3x}$ )及奥陶系仑山组( $O_1l$ )、汤山组( $O_2t$ )等地层;最外圈为志留系梨树窝组( $S_1l$ ) (图2)。彭山矿田内蕴藏着丰富的矿产资源,目前已发现锡、砷、锑、铅锌、萤石等矿床(陈振华等,2018),呈晕圈式沿穹窿构造和环状滑脱带展布。

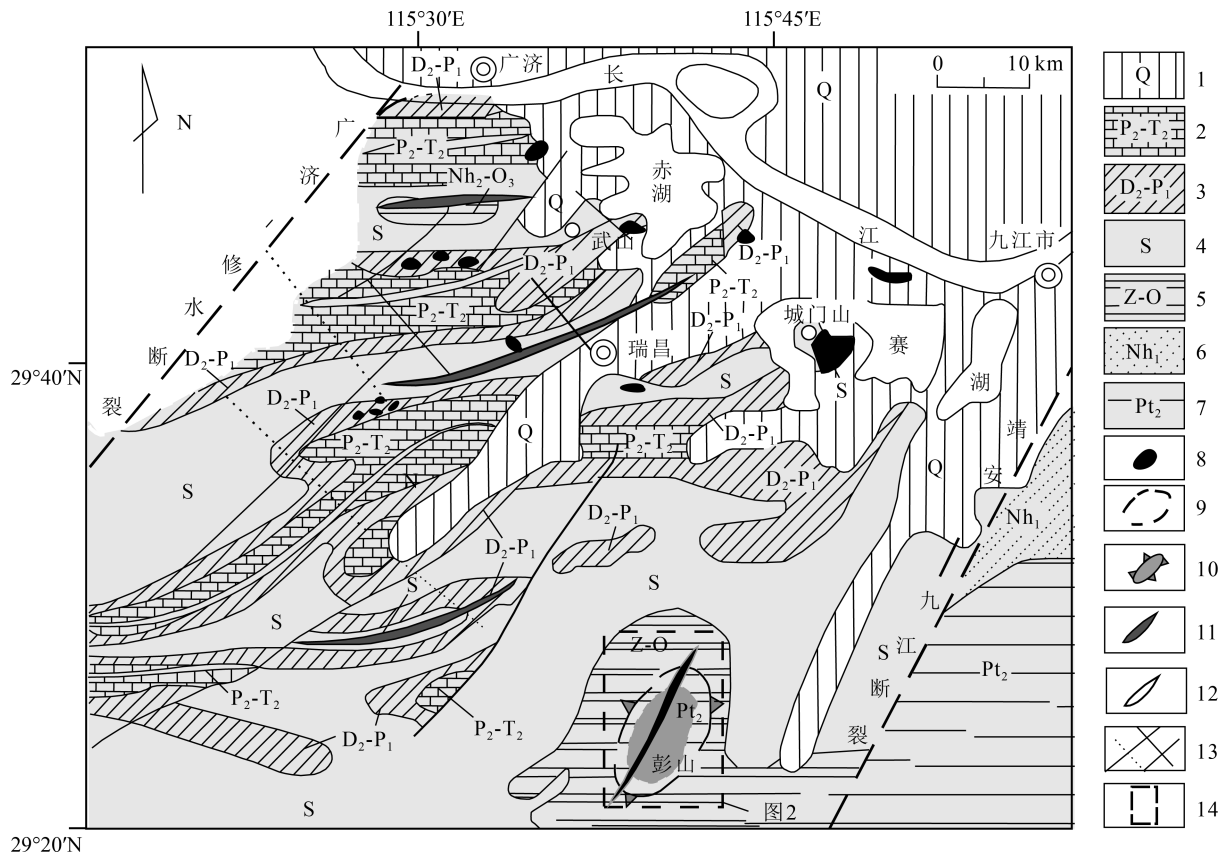


图1 九瑞矿集区构造地质图(据江西省地质矿产局,1984修改)

Fig. 1 Tectonic geological map of the Jiurui ore concentration area

1—第四纪砂砾-泥砂沉积;2—晚二叠世-中三叠世碳酸盐建造、含煤碎屑岩;3—中泥盆世-早二叠世碳酸盐、碎屑岩及含煤建造;4—志留纪碎屑岩类复理石建造;5—晚南华世-晚奥陶世碳酸盐岩、冰碛岩、含炭页岩及硅质岩建造;6—早南华世碎屑岩建造;7—中元古代复理石建造夹火山碎屑岩及少量细碧角斑岩;8—出露岩体;9—隐伏岩体;10—环弧状层间滑脱带;11—背斜轴;12—向斜轴;13—线型断裂及张应力线性组成的网格构造;14—图2范围

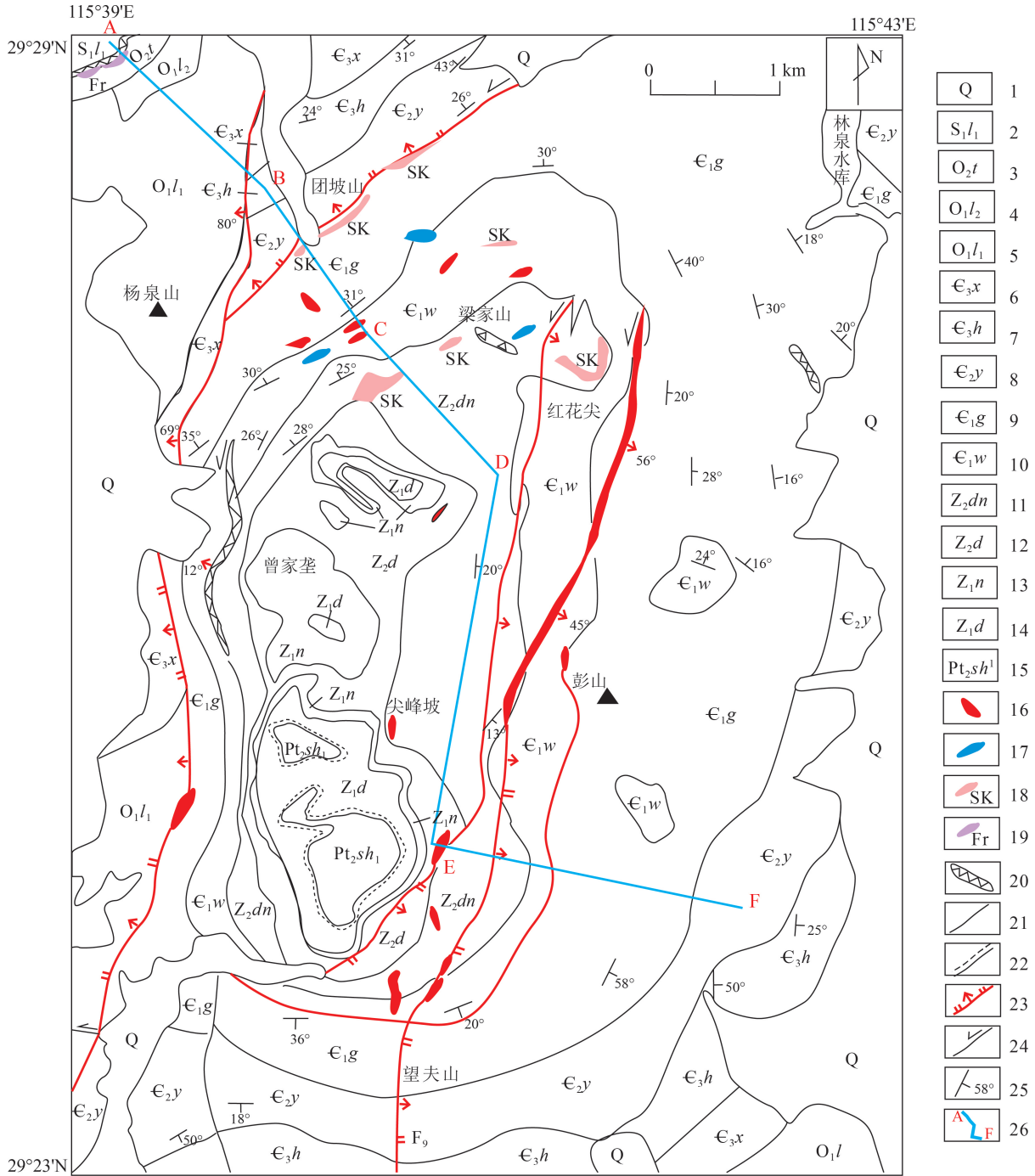


图 2 彭山矿田地质构造图(据江西省地质矿产局,1984;黄恩邦,1990<sup>①</sup>)

Fig. 2 Geological structure map of Pengshan ore field

1—第四系;2—梨树窝组下段;3—汤山组;4—北区仑山组上段;5—北区仑山组下段;6—西阳山组;7—华严寺组;8—杨柳岗组;9—观音堂组;10—王音铺组;11—灯影组;12—陡山沱组;13—南沱组;14—桐门组;15—双桥山群;16—中酸性岩脉;17—大理岩化;18—砂卡岩化;19—萤石化;20—硅化破碎带;21—地质边界;22—平行不整合边界;23—正断层及产状;24—平移断层;25—地层产状;26—剖面线位置

## 2 彭山岩浆核杂岩构造的地质特征

### 2.1 岩浆核杂岩的组成与产状

彭山岩浆核杂岩构造长轴近 SN 向,短轴近 EW 向。核部为穹状隐伏花岗杂岩体及中元古界双桥山群变质岩,翼部为古生界,整体结构呈椭圆形。岩浆核杂岩构造由岩浆杂岩体、核部的双桥山群浅变质岩、中间的拆离正断层剪切带及上覆的古生代沉积岩组成。

彭山岩浆核杂岩构造的中心是二云母碱长花岗岩、黑云母二长花岗岩、伟晶花岗岩和白岗岩先后侵入而成的花岗岩质杂岩体(表 1)。该隐伏杂岩体分布于彭山穹窿北部近轴部的转折位置,平面上呈 NE 向延伸,其中,又以二云母碱长花岗岩为主体,仅在岩体西部和西南部发育的黑云母二长花岗岩,在曾家垄矿区中部个别地段见其隐伏侵入二云母碱长花岗岩之下。另外,F<sub>9</sub>断裂带沿 NEE 向发育花岗斑岩脉,后期穿插有规模较小的煌斑岩脉和辉绿岩脉。

彭山隐伏岩体形成于中深成环境,以往的钻探及坑探资料揭露,该岩体主要有黑云母二长花岗岩、二云母碱长花岗岩 2 种岩性,在空间上呈明显的中心式刺穿关系,总体具有从早到晚由低侵位向高

侵位演化的特征。在其顶部及围岩中,常见伟晶岩外壳和白岗岩脉,时代均属早白垩世。二云母碱长花岗岩包括早期的细粒白云母碱长花岗岩、中期的中粒白云母碱长花岗岩、晚期的中粒二云母碱长花岗岩。黑云母二长花岗岩形成稍晚,由 3 个单元组成,边缘为细粒黑云母二长花岗岩,外围为似斑状黑云母二长花岗岩,内部为中粒黑云母二长花岗岩。马长信(1989)对该花岗岩体进行过成岩年龄测试,获得全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $128 \pm 4$  Ma。罗兰等(2010)对黑云母二长花岗岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年,获得的年龄分别为  $128 \pm 1$  Ma 和  $129 \pm 2$  Ma。

在彭山岩浆核杂岩构造的核部,分布有中元古界双桥山群下亚群低绿片岩相岩石,主要岩性为粉砂质板岩及中酸性火山角砾凝灰岩,中部夹基性、中酸性火山熔岩。两翼则由老至新依次为震旦系、寒武系、奥陶系、志留系组成。彭山岩浆核杂岩的穹窿构造和层间重力滑脱带所需的动力,主要来源于花岗岩浆底辟上升侵位时产生的向上的构造应力。在岩浆底辟作用下,上覆岩层形成穹窿,幅度渐渐加大。彭山矿田盖层的封闭条件较好,在岩体与基底、基底浅变质岩与外围沉积岩层之间,普遍发育了一系列滑脱断层构成的、向四周正向剪切的

表 1 彭山侵入岩体地质特征  
Table 1 Geological characteristics of Pengshan pluton

岩体名称	彭山花岗岩
产出部位	穹窿北段轴部转折部位
岩体产状	岩株状
出露面积/km <sup>2</sup>	隐伏岩体,前期地质工作已控制岩体范围为 7.5 km <sup>2</sup>
岩体形态	平面上呈 NE 向延伸的橄榄状
控岩控矿构造特征	围绕岩体大量分布有圆弧形层间滑动断裂破碎带
主要岩石类型	二云母碱长花岗岩、黑云母二长花岗岩、伟晶花岗岩及白岗岩等花岗岩岩体
围岩蚀变类型	主要有硅化、砂卡岩化及碳酸盐化,次有纤闪石化、绿泥石化等
侵位深度	中深成
主要造岩矿物组合	石英、斜长石、钾长石、黑云母(李芬,2016)
副矿物组合类型	磁铁矿、锆石、榍石
主要围岩	寒武系—志留系碎屑岩建造、碳酸盐岩
矿化类型	Sn、Pb、Zn
成岩时代	花岗岩: $128 \pm 1$ Ma, 锆石 SHRIMP U-Pb(罗兰等,2010) 白岗岩: $114 \pm 3$ Ma, 锆石 SHRIMP U-Pb(罗兰等,2009)
成矿时代	锡矿: $129.7 \pm 2.5$ Ma, 锡石 SHRIMP U-Pb(徐斌等,2015)

多层次构造滑离系统,总体具北缓南陡、内缓外陡、上缓下陡的特征,断裂带背离岩浆核杂岩方向,呈铲式分布,表现出拆离构造的特征(吕古贤等,2017)。在重要岩性差异地段的界面处,常发育环弧状层间重力滑动断裂,它们在穹窿两侧对称生成(图2、图3),均与上下地层产状一致或呈小角度相交。这些不同岩性界面上的顺层滑裂,使围岩中的矿物质向构造面聚集,起导矿、配矿和容矿的作用。

对彭山地区穹窿构造周围的地层产状进行了统计(表2),结果表明,在隐伏花岗岩体的北西侧,震旦系、寒武系岩层向NW方向倾斜;北东部寒武系岩层向NE方向倾斜;东部的寒武系岩层向东倾斜,局部向NE、SE方向倾斜;南侧的寒武系岩层向南倾斜,局部向SE方向倾斜。这些围岩地层以侵位的彭山花岗杂岩体为中心,总体显示穹窿状分布特征。

## 2.2 彭山岩浆核杂岩控矿特征

彭山矿田由北至南依次为黄金洼锡矿、曾家垄锡矿、尖峰坡锡矿、张十八铅锌矿等矿床。这些矿床分布在区内隐伏的燕山期花岗岩侵入体周围。

从彭山岩浆核杂岩中部的侵入岩体向四周,分布有一系列环弧状的层间滑动断裂和放射状断裂

(图2、图3),区内许多金属矿床的展布均受这些断裂系统的控制,其中多为锡石石英矿脉、毒砂矿脉、铅锌矿及浸染状多金属硫化物矿体,成矿作用严格局限在圆弧状层间滑动断裂破碎带内。控矿断裂多为岩浆穹窿所派生的层间拆离断层、层间滑脱构造,其产状多与上部地层一致,相关的工业矿体均呈层状、似层状分布(图4)。

伸展构造背景下,断裂带为低压空间,燕山晚期彭山花岗岩体的侵位,不仅提供了丰富的成矿物质,而且提供了大量的热能。地下热液、深部岩浆热液、混合岩化热液运移至断裂带,并沿其上升,在有利位置沉淀成矿。矿体大多数顺层分布,少数分布在后期叠加改造的断层破碎带内。平面上,彭山矿田中各类矿床的展布明显受到穹窿构造的制约,内部以高温的毒砂矿、锡矿为主,中部是中温的锡、铅、锌矿床,外围为以萤石、铅锌、重晶石为主的低温矿带(卢树东等,2004;卢树东,2005;陈振华等,2018)(图5)。徐斌等(2015)对尖峰坡矿区锡成矿年龄进行了锡石 SHRIMP U-Pb 测试,锡成矿年龄为  $129.7 \pm 2.5$  Ma,这与罗兰等(2010)所测试的彭山隐伏花岗岩的锆石 U-Pb 年龄(128~129 Ma)一致,表明成矿时代与侵入岩活动时代一致。

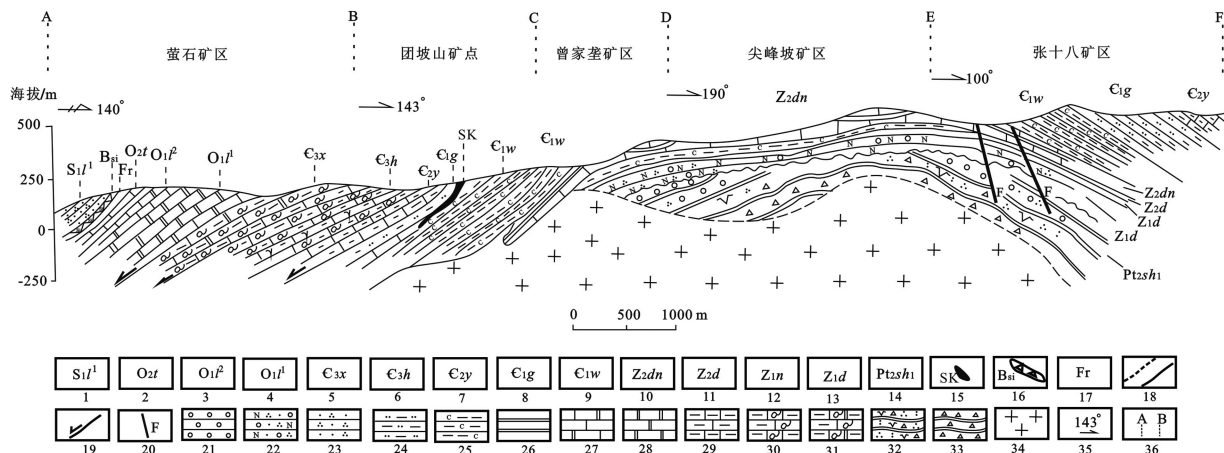


图3 彭山矿田地质剖面图(据江西省地质矿产局,1984;黄恩邦,1990<sup>①</sup>)

Fig. 3 Geologic profile map of Pengshan ore field

1—梨树窝组下段;2—汤山组;3—北区仑山组上段;4—北区仑山组下段;5—西阳山组;6—华严寺组;7—杨柳岗组;8—观音堂组;9—王音铺组;10—灯影组;11—陡山沱组;12—南沱组;13—桐门组;14—双桥山群下段;15—砂卡岩化;16—硅化破碎带;17—萤石;18—实测、推测地质界线;19—拆离滑脱带;20—断层;21—砾岩;22—含砾长石石英砂岩;23—细粒石英砂岩;24—泥质粉砂岩;25—炭质页岩;26—硅质岩;27—白质灰岩;28—白云岩;29—泥质灰岩;30—窄条带灰岩;31—条带状白质灰岩;

32—变石英角砾质砾凝灰岩;33—变火山角砾岩;34—花岗岩;35—剖面线方位;36—剖面线分段编号

表2 彭山侵入岩体周围地层产状统计

Table 2 Statistical table of stratigraphic occurrences around Pengshan intrusive rocks

岩体北西侧		岩体北东侧		岩体东侧		岩体南侧	
地层	产状	地层	产状	地层	产状	地层	产状
€ <sub>3h</sub>	322°∠31°	€ <sub>1g</sub>	59°∠18°	€ <sub>3h</sub>	92°∠25°	€ <sub>2y</sub>	154°∠50°
€ <sub>3h</sub>	347°∠24°	€ <sub>1g</sub>	61°∠40°	€ <sub>3h</sub>	90°∠50°	€ <sub>2y</sub>	181°∠18°
€ <sub>2y</sub>	315°∠43°	€ <sub>1g</sub>	77°∠30°	€ <sub>1g</sub>	92°∠20°	€ <sub>1g</sub>	180°∠36°
€ <sub>2y</sub>	320°∠26°	€ <sub>1g</sub>	41°∠20°	€ <sub>1g</sub>	90°∠28°	€ <sub>1g</sub>	160°∠20°
€ <sub>1g</sub>	358°∠30°			€ <sub>1g</sub>	83°∠16°	€ <sub>1g</sub>	113°∠58°
€ <sub>1g</sub>	322°∠31°			€ <sub>1g</sub>	44°∠16°		
€ <sub>1g</sub>	327°∠35°			€ <sub>1w</sub>	25°∠24°		
€ <sub>1w</sub>	336°∠30°			€ <sub>1w</sub>	92°∠20°		
€ <sub>1w</sub>	300°∠26°			€ <sub>1w</sub>	131°∠13°		
Z <sub>2dn</sub>	334°∠25°						
Z <sub>3dn</sub>	324°∠28°						

注:地层代号注释同图3

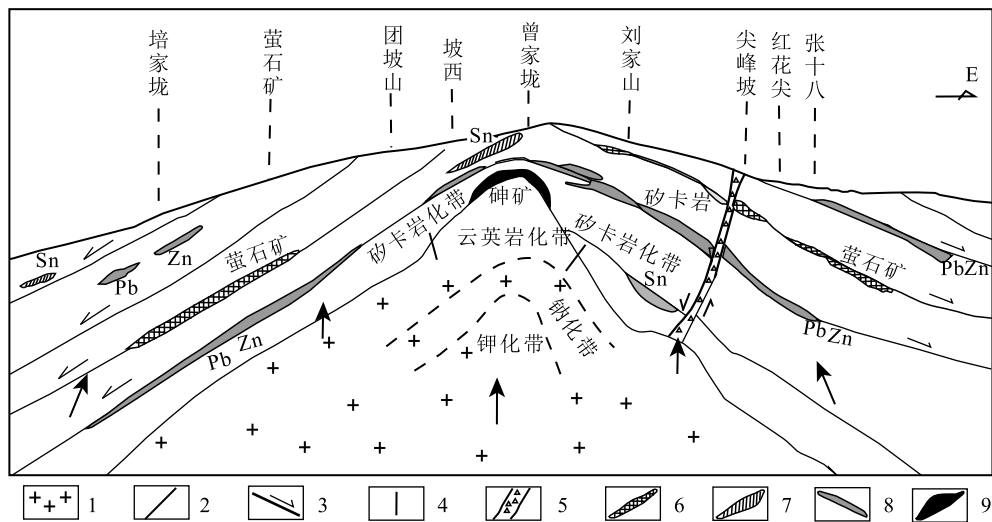


图4 彭山矿田热穹窿构造剖面与矿体分布图(据江西省地质矿产局,1984)

Fig. 4 Distribution map of structural profile and orebodies of Pengshan thermal dome

1—隐伏花岗岩;2—地层界线;3—拆离断层滑动方向;4—矿液转移方向;5—断层破碎带;6—萤石矿;7—锡矿;8—铅-锌矿;9—砷矿

### 3 岩浆核杂岩的地球物理证据

#### 3.1 重力异常

彭山矿田位于瑞昌—宜丰一带 NNE 向重力异常正负交替的梯度带上。地球物理资料(邓震等, 2012; 梁锋, 2014; 王浩臣, 2014; 陈辉等, 2015; 朱威等, 2015)进一步证实, 该区发育岩浆核杂岩隆起构造。通过重力异常平面图(图 5)分析, 重力异常等值线整体沿 NW 向展布, 异常中心分布在梁家山、

曾家垅一带(徐浩等, 2021)。本次研究认为, 引起彭山低重力异常的主要原因是隐伏花岗岩, 推断以曾家垅—彭山为中心的低重力异常, 可能对应燕山晚期彭山隐伏的低密度花岗岩体, 有利于成矿, 并推测该区深部为 NW 向的中型花岗岩基底。

#### 3.2 航磁异常

研究区航磁异常强度普遍较低, 变化较平稳(严加永等, 2011; 陈后扬等, 2018)。区域 1:5 万航磁  $\Delta T$  化极等值线图(图 6)显示, 彭山地区显示

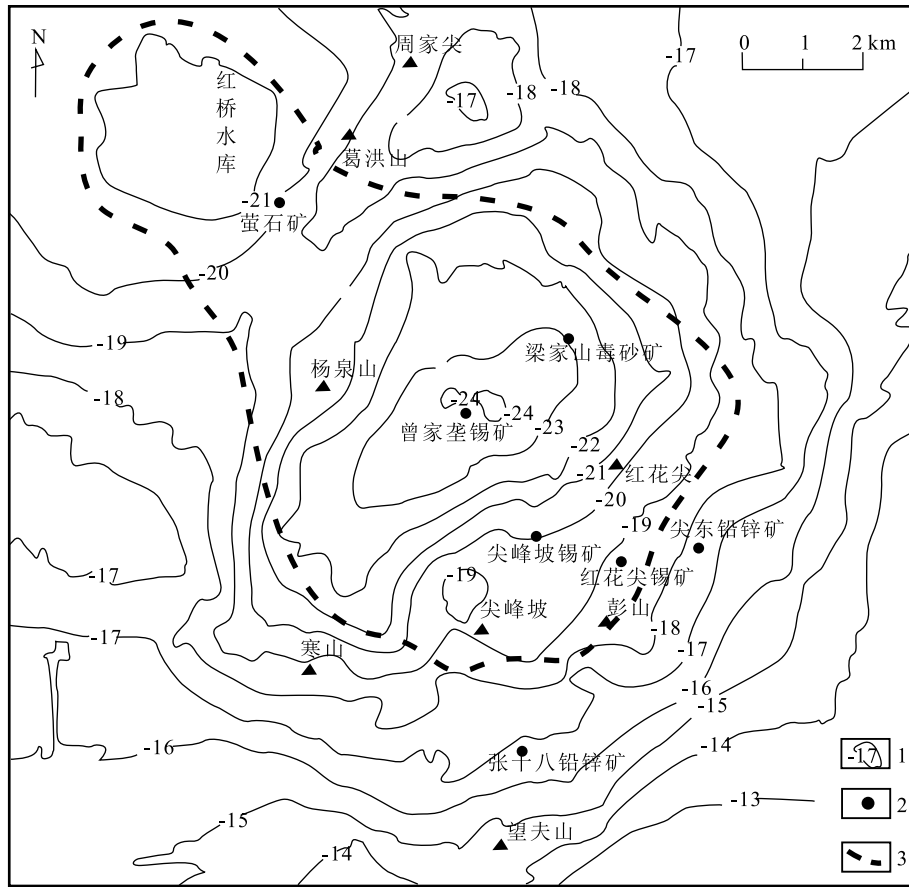


图 5 彭山地区布格重力异常图(据徐浩等,2021)

Fig. 5 Bouguer gravity anomaly in Pengshan area

1—布格重力异常/mGal;2—矿床点;3—推测的隐伏岩体范围

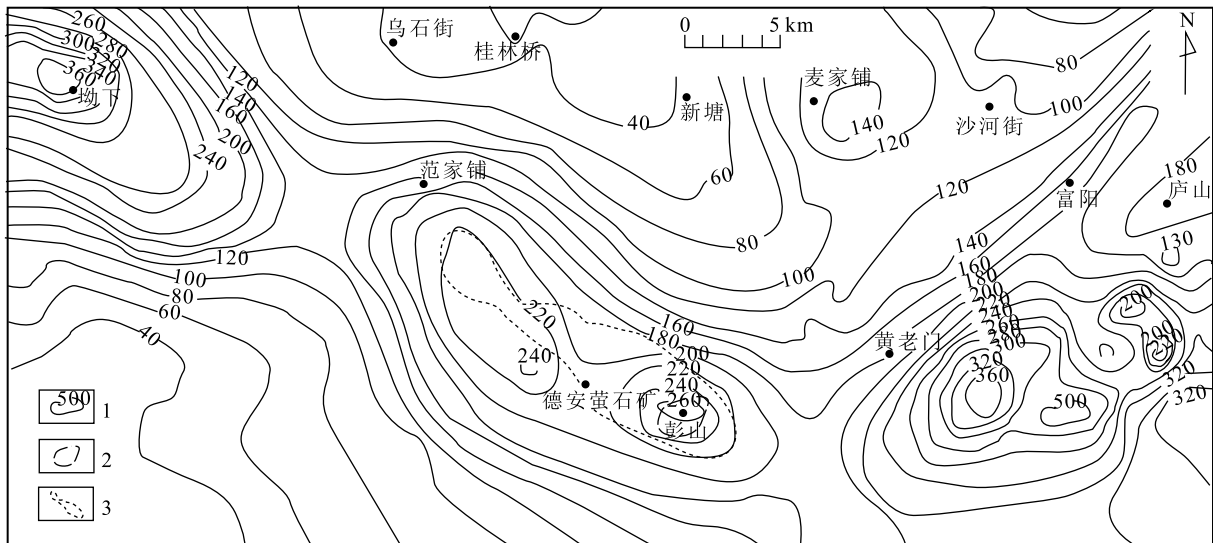


图 6 彭山地区航磁  $\Delta T$  化极等值线图<sup>①</sup>

Fig. 6 Isoline plan of aeromagnetic  $\Delta T$  in Pengshan area

1—航磁  $\Delta T$  化极异常/nT;2—磁异常推测岩体范围;3—地质探测范围



为较大圈闭磁场抬高区。研究区自古生代以来基本处于沉积盖层中,且这些沉积盖层一般是非磁性的。高磁场区和局部异常区域通常与隐伏或出露的中酸性岩体有关,钻探工程也证实了磁异常是由隐伏岩体引起的(张平艳,2016)。

对比图5和图6,可见重力低异常中心与航磁 $\Delta T$ 化极异常非常接近,重、磁异常在彭山地区应是由同源引起,即隐伏的花岗岩体。结合重磁资料分析,推测隐伏花岗岩的范围远大于目前地质工程圈定的岩体范围。该岩体以彭山为中心,沿着彭山—范家铺—坳下NW方向展布,在深部与青山岩体(位于范家铺和坳下之间的青山地区)相接。

## 4 彭山岩浆核杂岩成矿模式

### 4.1 构造成岩成矿过程

结合区域资料可以推测彭山矿田区的构造演化历史(刘南庆等,1994;2011):中元古代中期,彭山矿田区伴有阵发性海底火山喷发,沉积了一套中基性火山岩系;晚期,伴随着火山活动的减弱,形成了一套类复理石建造,成为彭山地区的基底地壳( $Pt_2sh^1$ )。震旦纪—志留纪,地壳微弱升降,整体以抬升为主,沉积了一套陆表浅海碎屑—泥质—硅质—碳酸盐岩建造。印支期该区受到华北板块和扬子板块碰撞构造影响,彭山地区上升成陆,形成一系列NE—NNE向的背向斜和相关断裂(图1)。进入燕山期,在区域伸展构造背景下,岩浆活动强烈,早白垩世黑云母二长花岗岩、二云母碱长花岗岩先后侵入,形成了彭山岩体(128~129 Ma);随后,白岗岩(114 Ma)侵位形成,与早白垩世2期花岗质岩浆侵位活动叠加,构成了九瑞矿集区彭山“岩浆核杂岩”的基本框架。

彭山花岗杂岩体呈底辟上升,在花岗岩体周围形成大量的弧形滑脱裂隙带,也是研究区主要的导岩导矿构造。从花岗岩体中心向四周,彭山矿田内众多内生热液矿床的形成均严格局限在圆弧形层间重力滑脱带内。

### 4.2 成矿模式

从成矿动力机制看,变质核杂岩是伸展变形、变质作用及近同期侵入岩浆热液的动力作用的产物(刘南庆等,1994;刘俊来等,2002;吕古贤等,2015;2016;2019)。而岩浆核杂岩则源于中生代岩浆作用、构造岩浆热和热液动力;彭山多金属矿田

并非受控于变质核杂岩构造,而是受岩浆核杂岩构造控制。彭山一带的伸展拆离、岩浆侵位形成了彭山隐伏的岩浆热穹窿、拆离断层系等多层次拆离滑脱带,为典型的与燕山期岩浆侵入有关的岩浆核杂岩构造样式。岩浆核杂岩的核心由燕山中期隐伏的椭圆状花岗质侵入岩体构成,并在燕山晚期定型。岩浆核杂岩构造一般呈穹窿带状分布,断裂带呈铲状分布在岩浆核杂岩周围,表现出拆离构造的特征。

彭山南侧有一组NEE向的褶皱带和一组较大的推覆断裂。东侧丁家山—梁家山—张十八一带有一近SN向的断裂带( $F_9$ ),切穿了穹窿的东北部。中元古界基底与震旦系之间表现为韧性滑脱断裂接触关系,中部震旦系与寒武系之间表现出脆性滑脱断层特征,奥陶系与志留系之间则表现为浅部脆性拆离断裂性质(刘南庆等,2011),整体形成了多层次结构的韧—脆性剪切滑脱体系(张平艳,2016)。彭山矿田“晕圈型”的矿带类型正是沿多层次滑脱断裂富集的结果,从中心向外围依次为砷、锡、铅锌、萤石、重晶石矿带,也充分展现出成矿物质从岩体向外渗透迁移、不同矿物依次富集的特征。

彭山矿田的各类矿床均与花岗岩体存在密切的时空关联,成矿时间略滞后于花岗质岩浆活动,可以认为彭山锡、铅锌等矿床主体是岩浆热液交代蚀变型矿床。岩浆期后,富含成矿元素和挥发性成分的气—水热液对围岩进行渗透扩散交代,或对裂隙和层间破碎带进行充填交代,或对前期矿化进行叠加和改造,最终沿层间滑脱带卸载热液中的含矿物质并富集成矿。

典型的岩浆核杂岩构造由3个构造单元组成,即中心的岩浆杂岩、外部的滑覆体壳及之间的顺层韧性剪切带(吕古贤等,2016)。岩浆核杂岩呈穹窿状,以岩浆岩为中心,起源于中生代岩浆活动及其构造岩浆热液动力学。吕古贤等(2017)认为,岩浆核杂岩构造可能是中国中生代常见的地质现象。综上所述,彭山矿田是九瑞矿集区构造发展的关键部位,也是一个经历了长期构造演化、在燕山中期岩浆底辟侵位形成、晚期定型的岩浆核杂岩构造(图7)。彭山矿田以核部岩浆杂岩为中心,晕圈型分布的各类矿床均与岩浆核杂岩构造密切相关。

## 5 彭山岩浆核杂岩与邻区对比

总的来说,九瑞矿集区武山—城门山一带的成

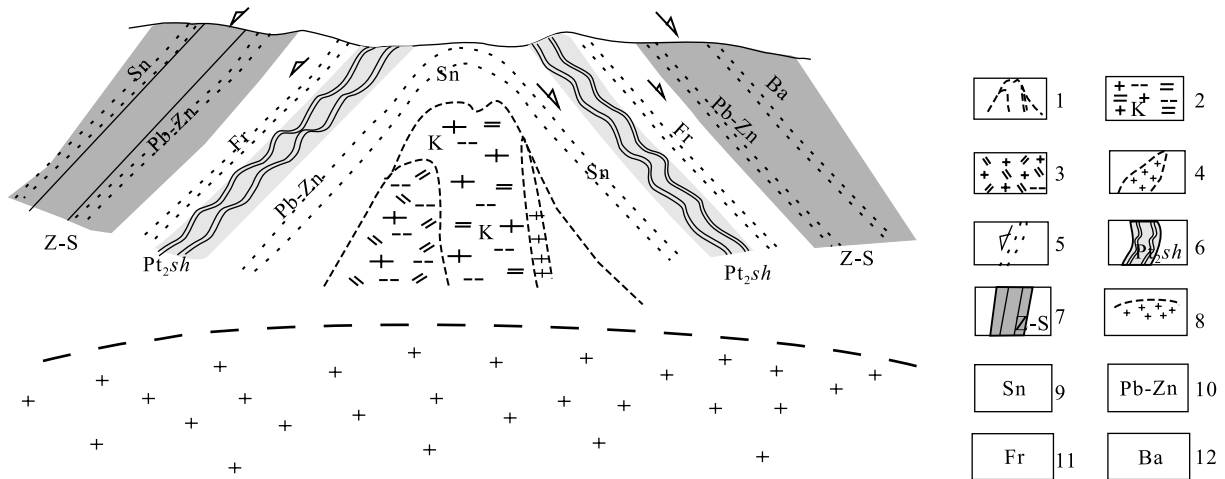


图 7 彭山岩浆核杂岩隆起-拆离成矿模式(据刘南庆等,2011;杨明桂等,2011;李芬,2016;陈伟等,2018)

Fig. 7 Upheaval-detachment metallogenic model of Pengshan magmatic core complex

1—岩浆核杂岩核部;2—二云母碱长花岗岩;3—黑云母二长花岗岩;4—白岗岩;5—拆离滑脱带;6—双桥山群浅变质岩;7—外围震旦纪—志留纪沉积岩;8—花岗岩基;9—锡矿;10—铅锌矿;11—萤石矿;12—重晶石矿

岩成矿活动与 NW 向长江深大断裂构造带密切相关(所颖萍等,2013;张勇等,2016)。NW 向的长江深大断裂和 NE—NNE 向断裂的交会部分,是控制岩体产出的主要因素,如邓家山、东雷湾、通江岭、武山、丁家山、城门山等岩体都产出在 NE 向与 NW 向断裂构造的结点部位。成矿活动迟于岩浆活动开始,并滞后于岩浆活动结束。晚侏罗世—早白垩世,长江中下游成矿带处于挤压—伸展的转化阶段,郟庐断裂带的左行牵引形成特定的构造应力场,导致伸展拆离、基底滑脱向上抬升(高雅宁,2010)。仅西部九瑞矿集区及其周缘就形成了变质核杂岩(庐山)(项新葵等,1994)、拆离断系(九岭基底多层次拆离系统)、岩浆核杂岩(彭山)、底辟热穹窿(武山、城门山)构造区段(表 3)。多层次多级构造的交织演变,形成了多级构造—岩浆活动与剪切变形带的组合发育区段。有些区段成为后期燕山期壳幔混合岩浆活动的薄弱带和强烈发育地段,由此形成了九瑞矿集区的成矿爆发聚集事件,从而造就了许多大型金属矿床的产出和发育。

综合前人资料(周涛发等,2000;罗小洪,2006;所颖萍等,2013;徐耀明等,2013),九瑞矿集区成矿事件与燕山期岩浆活动密切相关(表 1),在侏罗纪末—早白垩世初发育挤压型滑脱构造,早白垩世末形成伸展型拆离滑脱构造。该区大规模的成矿作

用发生于由挤压向拉张的过渡阶段,形成矽卡岩型、斑岩型及热液多金属矿床(主成矿期)。因此,武山、城门山、彭山等矿田的构造变形、侵入岩浆活动时代、成矿时代均集中于燕山期,具有一致性,但这些不同构造区段(彭山、庐山、武山—城门山)在基本地质特征、成矿特征方面也存在不同(表 3)。3 个地段有不同的构造应力场,核部岩石组合也存在不同:彭山岩浆核杂岩核部为岩浆杂岩,以花岗岩为主;庐山变质核杂岩核部则以古老的古—中元古代星子群深变质岩为主。围绕核部外围构造层,彭山和武山—城门山地区为古生代沉积岩,而庐山地区除沉积岩层外,还发育浅变质岩。彭山和庐山的构造组合中发育韧性剪切带,且都发育动力变质作用(糜棱岩化),而武山—城门山地区未出现韧性剪切带,也没有显著的动力变质作用发生。3 个地区的成矿作用均与燕山期的侵入体时代一致,但控矿构造不同:彭山地区成矿富集受控于岩浆核杂岩,庐山地区则沿星子变质核杂岩的拆离断层带等展布,武山—城门山地区则主要是岩浆热穹窿相关的断层、接触带及破碎带控矿。

## 6 结 论

(1)九瑞矿集区的彭山一带为典型的燕山晚期岩浆侵入有关的岩浆核杂岩构造样式。彭山岩浆核杂岩的核部为穹状隐伏花岗杂岩体,围绕岩浆岩

表3 彭山岩浆核杂岩、庐山变质核杂岩及武山-城门山岩浆热穹窿基本特征对比

Table 3 Comparison of basic characteristics between Pengshan magmatic core complex, Lushan metamorphic core complex, and Wushan-chengmenshan magmatic thermal dome

基本特征对比	彭山岩浆核杂岩	庐山变质核杂岩	武山-城门山岩浆热穹窿
核部岩石组合	主要是中元古代双桥山群浅变质岩、震旦系沉积岩及多期次花岗侵入岩	古一中元古代星子群深变质岩、新元古代花岗岩片麻岩,中生代中酸性花岗岩	主要是中生代侏罗纪一期花岗岩侵入岩和沉积岩或变质岩
外围构造层	主要为古生代沉积岩层	主要为浅变质岩和沉积岩层,发育有铲式正断层带	为古生代沉积岩
主拆离界面	可有拆离断层或早期韧性、晚期脆-韧性剪切带或滑脱断层带、铲状正断层带伴随岩浆热液交代蚀变带	发育拆离断层和韧性剪切带;且主要发育在古老的变质基底岩系,在侵入岩体也有糜棱岩和韧性剪切带	没有韧性剪切带,可出现滑脱变形带,常伴随热液交代蚀变带
构造应力场	区域或局部挤压-伸展构造转换期应力场	区域地壳伸展应力场	伸展-张扭性应力场
变质作用	核部沉积岩或中浅变质岩,拆离断层面发生动力变质作用(糜棱岩化)或断裂破碎	核部区域中深变质作用,早期角闪岩相,后期退变质作用。拆离断层面普遍发生区域变质和动力变质(糜棱岩化)及断裂破碎	核部与外围均为沉积岩,无明显地质时代的差别和岩层缺失。没有区域变质和显著的动力变质作用
成矿作用	沿核部岩浆岩和外围层间、主拆离断层带和韧性剪切带附近成矿富集,成矿时代与侵入岩活动时代和剪切变形时代相近	沿主拆离断层带和韧性剪切带附近成矿富集,各工业矿床的形成是星子变质核杂岩及其多层次拆离断层形成演化的结果	沿热穹窿周缘断层带或侵入岩周围接触带和层滑破碎带附近成矿富集,成矿时代与侵入岩时代一致

核部分布的依次是中元古界浅变质岩系、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系沉积岩层,总体显示穹窿状分布。

(2) 彭山矿田元古宇和下古生界穹窿构造是由燕山期花岗岩底辟形成的;岩体是成矿物质的来源,拆离断层的层间断裂带和角砾岩带及放射状断裂有利于成矿流体的传导和富集。矿化在彭山岩浆核杂岩的内外接触带发生,并以核部隐伏的花岗岩体为中心,向四周出现高温矿种向低温矿种变化的砷矿(毒砂)-锡矿-铅锌矿-萤石矿-重晶石矿等晕圈型的矿带类型,在构造应力的松弛阶段形成矽卡岩型、斑岩型及脉状等锡-铅锌矿床。

(3) 彭山岩浆核杂岩构造由核部花岗岩浆杂岩体+双桥山群浅变质岩-拆离正断层剪切带-上覆沉积岩3个构造单元组成。彭山岩浆核杂岩隆起-拆离带成矿特征与庐山变质核杂岩和武山-城门山岩浆热穹窿对比,虽有相似性,但成岩成矿差异特征明显。

## 注释

① 黄恩邦.江西九江-瑞昌地区铜金成矿条件及成矿预测[R].江西

省地质矿产局赣西北大队,1990.

## 参考文献

- Ding X, Jiang S Y, Zhao K D, et al. In-situ U-Pb SIMS dating and trace element (EMPA) composition of zircon from a granodiorite porphyry in the Wushan copper deposit, China [J]. *Mineralogy and Petrology*, 2006, 86: 29-44.
- Yang S Y, Jiang S Y, Li L, et al. Late Mesozoic magmatism of the Jiurui mineralization district in the Middle-Lower Yangtze River Metallogenic Belt, eastern China: Precise U-Pb ages and geodynamic implications [J]. *Gondwana Research*, 2011, 20(4): 831-843.
- 常印佛, 周涛发, 范裕. 复合成矿与构造转换——以长江中下游成矿带为例 [J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3067-3075.
- 陈辉, 邓居智, 吕庆田, 等. 九瑞矿集区重磁三维约束反演及深部找矿意义 [J]. *地球物理学报*, 2015, 58(12): 4478-4489.
- 陈后扬, 姚远, 史洪峰, 等. 重磁电综合物探技术在彭山穹窿地区深部勘查中的应用 [J]. *江西地质*, 2018, 73(7): 214-224.
- 陈伟, 陈斌, 孙克克. 江西彭山锡多金属矿集区曾家垄锡矿相关的铝质花岗岩成因 [J]. *地球化学*, 2018, 47(5): 554-574.
- 陈振华, 符海明, 余泉. 江西彭山锡铅锌矿田地球物理化学异常特征及找矿模型 [J]. *世界有色金属*, 2018, 507(15): 62-64.
- 崔斌, 李忠文. 江西九瑞地区铜金成矿系列 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- 邓震, 吕庆田, 严加永, 等. 九江-瑞昌矿集区的3D结构及对区域找矿的启示 [J]. *地球物理学报*, 2012, 55(12): 4169-4180.

- 董平,王文斌,李文达,等.武山铜矿层状含铜黄铁矿矿体锇同位素地球化学特征及矿床成因[J].火山地质与矿产,1995,16(2): 94-100.
- 董树文,马立成,刘刚,等.论长江中下游成矿动力学[J].地质学报,2011,85(5): 612-625.
- 段漠琳.江西彭山锡多金属矿田地质地球化学特征以及成矿规律研究[J].世界有色金属,2020,542(2): 76-78.
- 高雅宁.下扬子地区基底特征及其对成矿的控制作用研究[D].长安大学硕士学位论文,2010.
- 蒋少涌,段登飞,徐耀明,等.长江中下游地区鄂东南和九瑞矿集区成矿岩体特征及其识别标志[J].岩石学报,2019,35(12): 3609-3628.
- 江西省地质矿产局.江西省区域地质志[M].北京:地质出版社,1984.
- 李芬.江西彭山矿田尖峰坡锡矿床成矿模式与成矿预测研究[D].南京大学硕士学位论文,2016.
- 李进文,李旭辉,裴荣富,等.江西武山铜矿南矿带辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].地质学报,2007,81(6): 801-807.
- 梁锋.长江中下游成矿带中段深部结构研究[D].中国地质科学院博士学位论文,2014.
- 刘俊来,崔迎春,关会梅.辽吉朝褶皱带古元古宙岩浆核杂岩及其大地构造意义[J].地质通报,2002,21(2/3): 202-206.
- 刘南庆,黄剑凤.试论彭山地区变质核杂岩构造及其成矿作用[J].地质找矿论丛,1994,9(1): 18-26.
- 刘南庆,尹祝,施权,等.赣北九瑞-彭山地区构造运动机制及其控矿作用分析[J].地质与勘探,2011,47(3): 333-343.
- 刘细元,杨浩洁,聂龙敏,等.江西武功山岩浆核杂岩基本特征[J].地质学报,2016,90(3): 468-474.
- 卢树东,杜杨松,肖锺,等.江西彭山锡(铅锌)多金属矿田构造地质特征及成矿机理探讨[J].大地构造与成矿学,2004,(3): 297-305.
- 卢树东.江西彭山矿田张十八铅锌矿地质特征与成矿物质来源研究[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2005.
- 罗兰,蒋少涌,杨水源,等.江西彭山锡多金属矿集区隐伏花岗岩体的岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成[J].岩石学报,2010,26(9): 2818-2834.
- 罗兰,蒋少涌,赵葵东,等.江西彭山锡多金属矿集区隐伏花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J].矿物学报,2009,29(S1): 323-324.
- 罗小洪.九瑞地区中生代岩浆活动及其大地构造意义[J].东华理工大学学报,2006,29(2): 121-126.
- 吕古贤,霍庆龙,袁月蕾,等.胶东金矿陆内构造岩浆隆起-拆离带蚀变成矿[J].矿物学报,2015,(S1): 1028.
- 吕古贤,李洪奎,丁正江,等.胶东地区“岩浆核杂岩”隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿[J].现代地质,2016,30(2): 247-262.
- 吕古贤,张宝林,何昌成.我国东部金属矿田的区域成矿背景——“岩浆核杂岩”隆起-拆离带成矿特征[C]//第八届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要文集,2017.
- 吕古贤,焦建刚,张宝林,等.胶东陆内“岩浆核杂岩”构造与拆离带金矿成矿[C]//第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集,2019.
- 马长信.关于彭山高挥发份花岗岩底辟穹窿构造及其控矿作用[J].地质论评,1989,35(2): 127-135.
- 毛景文,胡瑞忠,陈毓川.大规模成矿作用与大型矿集区[M].北京:地质出版社,2006.
- 所颖萍,陈志洪,匡福祥,等.江西九瑞地区铜金成矿的时空结构及演化[J].资源调查与环境,2013,34(2): 102-108.
- 王浩臣.含地质耦合三维重力反演研究及在九瑞矿集区的应用[D].东华理工大学硕士学位论文,2014.
- 温小明,刘兴畅.九瑞-德安地区 Cu 地球化学块体特征及其找矿潜力评价[J].世界有色金属,2017,488(20): 293-295.
- 项新葵,许建华,马长信.庐山变质核杂岩构造的初步研究[J].华东地质学院学报,1994,(1): 11-17.
- 徐斌,蒋少涌,罗兰.江西彭山锡多金属矿集区尖峰坡锡矿床 LA-MC-ICP-MS 锡石 U-Pb 测年及其地质意义[J].岩石学报,2015,31(3): 701-708.
- 徐浩,盛勇,廖圣柱.江西彭山岩体重力异常特征研究[J].工程地球物理学报,2021,18(6): 923-929.
- 徐积辉.江西城门山铜钼矿床成因探讨及找矿方向[D].中南大学硕士学位论文,2007.
- 徐耀明,蒋少涌,朱志勇,等.江西九瑞矿集区成矿与未成矿中酸性侵入岩年代学、岩石化学、矿物化学特征的异同及地质意义[J].岩石学报,2013,29(12): 4291-4310.
- 许红光,尹昭君.江西城门山铜多金属矿岩浆侵位机制与成矿关系探讨[J].地质找矿论丛,2017,32(3): 385-390.
- 严加水,吕庆田,孟贵祥,等.基于重磁多尺度边缘检测的长江中下游成矿带构造格架研究[J].地质学报,2011,85(5): 900-914.
- 杨明桂,余忠珍,曹钟清,等.鄂东南-赣西北坳陷金属成矿地质特征与“层-体”耦合成矿模式[J].资源调查与环境,2011,32(1): 1-16.
- 杨兴科,刘池洋,杨永恒,等.热力构造的概念分类特征及其研究进展[J].地学前缘,2005,(4): 385-396.
- 杨兴科,刘渭,范阅,等.矿田构造与岩浆-热力构造的类型划分及青海实例分析[J].地球科学与环境学报,2015,37(1): 24-36.
- 张磊,李旭辉,陈天迪.江西九瑞矿集区武山铜多金属矿勘查模型及找矿应用[C]//首届全国矿产勘查大会论文集,2021.
- 张平艳.江西九瑞-彭山矿集区坳下地区成矿地质特征及找矿方向和找矿方法研究[D].南京大学硕士学位论文,2016.
- 张勇,匡福祥,王冲,等.长江中下游九瑞地区构造演化及控岩控矿特征[J].矿产勘查,2016,7(2): 300-306.
- 周涛发,岳书仓.长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理[J].北京大学学报(自然科学版).2000,36(5): 697-707.
- 朱清波,杨坤光,程万强.九江-瑞昌地区中生代滑脱构造研究[J].中国地质,2012,39(5): 1199-1210.
- 朱威,王大勇,刘桂芹,等.基于地球物理资料的九瑞矿集区三维地质模型分析[J].物探与化探,2015,39(5): 915-922.