

云南个旧锡多金属矿区矿田构造实测与分析

李宝龙¹ 毛景文¹ 莫国培² 陈兴寿² 朱德全³

(1. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室 矿产资源研究所 中国地质科学院, 北京 100037;

2. 云南锡业集团公司生产处, 云南 个旧 650000; 3. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照 276826)

摘要:云南个旧是全球最大的锡铜多金属矿区,是与燕山期花岗岩密切相关的岩浆-热液成矿体系,构造控矿特征非常明显。本文选取松树脚、老厂和卡房矿田内的节理作为研究对象,以巷道为主并结合地表对节理进行了系统的测量和统计。研究表明:(1)矿区容矿节理优势展布方向为 NE、NW、N-S 和 E-W,特别是 NW 节理是矿区西部新近发现的重要容矿构造。(2)花岗岩中节理发育在矿区南北部具有差异性。矿区北部节理优势单一且集中,以 NW306°~312°和 NE45°左右为主;南部节理优势方位复杂且多变,以 NE50°、N-S、E-W、NW312°~324°和 WNW280°为主。(3)碳酸盐岩中节理发育亦显示出矿区北部优势明显且简单,矿区南部优势方向复杂且多期次叠加。(4)松树脚矿田节理在垂向上具有规律性,从浅部至深部,碳酸盐岩含矿地层中浅部以 NE50°为主,深部以近 N-S 向为主;花岗岩浅部以 NW306°~312°为主,深部变为 NE45°左右。成矿期的区域应力场为中晚燕山期的 NW-SE 向挤压应力,后期转为近 N-S 反向剪切应力。矿区西部新近发现的 NW 向节理构造是重要的容矿构造,后续的勘探和找矿工作中应引起足够的重视。矿区北部容矿节理和南部容矿节理发育规模和优势方位及成因存在差别,应加以区分。NE、N-S 向节理是连通花岗岩体与碳酸盐岩类含矿层的热源、水源和矿源的通道。这些认识将指导进一步深部和外围找矿部署工作。

关键词:矿田构造;矿化节理;锡铜多金属矿区;云南个旧

中图分类号:P618.44;P613

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2012)06-1657-13

1 引言

个旧是全球最大的锡铜多金属矿区,开采历史可以追溯到汉代,但大规模的地质勘查和开采始于解放之后。矿区内已探明锡资源储量超过 200 万 t, Sn、Cu、Pb、Zn、W、Bi、Mo、Ga、Cd、Nb、Ta、Be、Fe、Au、Ag 等有色、稀有及贵金属矿产达 20 余种,资源总储量超过了 1 000 万 t^[1]。关于个旧锡铜多金属矿床的成因争议比较多,主要存在以下几个观点:(1)是与燕山期花岗岩有密切成因联系的岩浆期后热液矿床^[2-17];(2)典型的三叠纪同生沉积矿床^[18,19];(3)成因比较复杂的层控型锡多金属矿床^[20];(4)海底喷流沉积成矿^[21-26];(5)秦德先等将个旧锡矿的成矿作用分为印支期海底基性火山沉积成矿(成矿系列 I)、印

支期海底喷流沉积成矿(成矿系列 II)和燕山期花岗岩叠加改造成矿(成矿系列 III)3 个系列^[27,28]。无论是何种矿床成因机制,燕山期花岗岩对成矿作用的贡献是毋庸置疑的。近年来的研究多侧重于地球化学和与花岗岩有关的成矿年代学研究,而对矿田构造的研究,特别是容矿构造及其成矿空间的展布特征等研究则很少涉及,还停留在 20 世纪 80 年代的认识水平之上。矿田构造研究的滞后严重制约着矿区内各大矿田进一步找矿勘查。

本文选取个旧矿区的卡房、老厂和松树脚矿田为研究区,对新山花岗岩体、老(厂)-卡(房)岩体内、外围岩体和赋矿层中的断裂构造考察和成矿节理构造进行统计测量,试图揭示整个矿区内节理构造在垂向和横向上的发育特征和分布规律,以便指导勘

收稿日期:2012-09-17;改回日期:2012-11-05

基金项目:国家自然科学基金重点基金(40930419)、中国地质调查局地质调查项目(1212011120994)共同资助。

作者简介:李宝龙,男,1982 年生,助理研究员,从事矿田构造方面研究;E-mail:xinzhongguolong@163.com。

探部署和开展找矿预测工作。

2 矿区地质概况

区域构造上,个旧锡铜多金属矿区地处太平洋构造域与特提斯构造域的交界部位,位于扬子板块与华夏地块过渡带的右江褶皱带西缘。右江褶皱带北以弥勒—师宗岩石圈断裂与扬子地块相接,西南以红河超岩石圈断裂与印支地块相连(图 1-a)。由于该区经历了不同时期的构造演化,区内褶皱和断裂构造较为发育,岩浆活动强烈,为成矿作用提供了优越的地质环境条件。

个旧矿区一级构造有海西—印支期特别是印支期拉张裂隙作用而成的个旧构造—岩浆裂陷盆地、区域性北东向弥勒—师宗断裂和近南北向的个旧断裂及甲界山断裂。甲界山断裂是目前矿区的东部边界,个旧大断裂和甲界山断裂是在基底断裂之上形成的大型张裂带。矿区被南北向个旧断裂(小江岩石圈断裂南延部分)分为东、西 2 个矿区。个旧锡铜多金属矿主要分布个旧东区,西区未见大型矿床,整个矿区面积达上百平方千米。矿区内五子山复式背斜(东区)和贾沙复式向斜(西区),呈 NE30°走向,是控岩和控矿构造,五子山复式背斜轴控制东区各大矿田的分布^[9]。东矿区又被北东向的断裂和褶皱分割为北东向的多个构造—岩浆成矿带,近东西向的 5 条压扭性大断裂(自北而南分别是松断裂、背阴山断裂、老熊洞断裂、仙人洞断裂和龙树脚断裂)将东区依次分为马拉格、松树脚、高松、老厂和卡房 5 个矿田(图 1-b)。区内三级构造主要为一系列等间距分布的北东向断裂和一些成对平行排列的近东西、北西向断裂以及由褶皱挠曲组成的挤压带,它们叠置于五子山背斜之上,是主要的控岩和控矿构造^[9](图 1-b)。

个旧矿区出露地层自下而上为:二叠纪基性火山岩,厚 2 432 m;上二叠统龙潭组(P₂l)细粒碎屑岩及煤系地层,厚度大于 332 m;下三叠统飞仙关组(T₃f)杂色砂页岩,厚 173~389 m;下三叠统永宁镇组(T₃v)砂泥岩,厚 408~457 m;中三叠统个旧组(T₃g)为碳酸盐岩,其下部夹基性火山岩,厚 1 400~4 000 m,是锡铜多金属矿的最主要容矿层;中三叠统法郎组(T₃f)为细粒碎屑岩及碳酸盐岩,在下部和上部均夹有基性火山岩,厚 1 800~2 800 m;上三叠统鸟格组(T₃u)和火把冲组(T₃h)为细粒碎屑岩,厚 500~1 200 m,具纹层状铅锌矿化^[1]。上述地层间除龙潭组与飞

仙关组、个旧组与法郎组为假整合接触外,其余相邻地层之间均为整合接触。

3 矿田主要断裂构造特征

断裂构造对锡多金属矿床的形成、分布起着控制作用,常控制着矿体的形态和规模。它们通常是岩浆侵位、热液上升和运移的通道,也为矿液沉淀提供赋存空间。个旧矿区的主要断裂展布方向有东西向、北北东—北东向、北西向和南北向 4 组。南北向构造在矿区内部不发育,主要以甲界山断裂和个旧断裂为代表,它们分别为东矿区的东西边界断裂(图 2-a~f)。甲界山断裂总体走向 350°~355°,倾向西,倾角 44°~56°,在地表形态显示为山间冲沟,可见有大小不等的角砾组成的碎裂岩,显示多期活动的特点(图 2-a~d)。个旧断裂总体走向近南北向,近直立,贯穿个旧市区,在金湖广场处可见陡立断层面(图 2-e,f)。东西向断裂构造,形成最早,表现为一系列东西向的压剪性断层,区内岩浆活动和矿化作用强烈,在很大程度上受其控制^[9],它也是分隔东矿区各矿田的次一级构造,老熊洞断裂是老厂矿田和卡房矿田的东西向分界线(图 2-g~j),总体走向 85°~92°,倾向南东,倾角约 88°,兼有正断和走滑性质,碎裂岩发育,显示多期运动的特征。卡房新山花岗岩体南侧仙人洞断裂在地表形态亦显示为冲沟,因地表开采破坏和植被茂密,断层地表露头出露不好(图 2-k,l)。矿田内其他方位断裂构造地表产状和形态特征因植被发育,地表露头较差,断裂常规地表研究方法受到极大的限制。

4 井下节理特征

为揭示矿田内节理构造的发育特征及规律,本文选择靠近个旧断裂的老厂矿田和卡房矿田以及靠近甲界山断裂的松树脚矿田为主要研究区,进行节理测量统计分析。以赋矿地层内节理构造为主要研究对象,以测区为单位进行测量(一个测区测量 40~60 个节理产状),绘制节理走向玫瑰花图和吴氏网赤平投影及等密度图等图件,亦对花岗岩体内部和外围岩体的节理构造进行研究。特别是对矿区内垂向上和横向上节理构造发育变化规律进行分析对比,揭示锡铜矿体展布和赋存的最佳方位。

4.1 老厂和卡房矿田

本次研究选取塘子凹坑、老厂矿部、老厂竹叶山

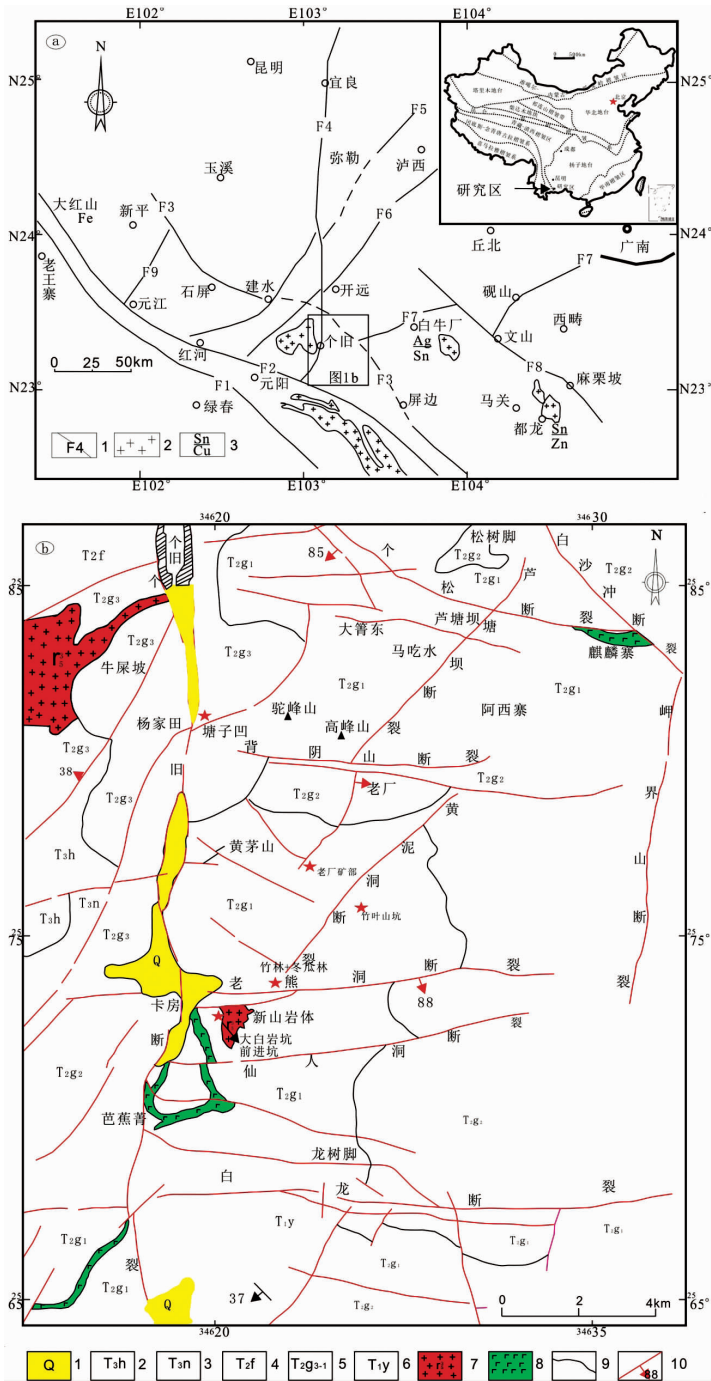


图 1 个旧矿区地质构造简图^[5,30]

a:滇东南区域地质简图^[30]图例说明 1—断裂及编号,2—燕山期花岗岩,3—金属矿床,F1—哀牢山深断裂,F2—红河断裂,F3—屏建石断裂,F4—小江断裂,F5—弥勒—师宗断裂,F6—南盘江断裂,F7—蒙自—砚山断裂,F8—文山—麻栗坡断裂,F9—绿汁江断裂;b:个旧东区地质略图^[5] 1—第四系沉积物,2—上三叠统火把冲组砂页岩,3—上三叠统乌格组砂页岩,4—中三叠统法郎组砂页岩、灰岩夹玄武岩,5—中三叠统个旧组白泥洞段、马拉格段、卡房段灰岩、白云岩夹玄武岩,6—下三叠统永宁镇组砂页岩夹灰岩,7—燕山期花岗岩,8—印支期玄武岩,9—地层界线,10—断裂及产状

Fig.1 Sketch geological map of Gejiu area showing the distribution of polymetallic tin deposits

Fig 1a: Regional map of southeastern Yunnan, 1—Serial number of fault, 2— Yanshanian granites, 3—Metal deposit, F1—Ailao Mountain Fault, F2—Red River Fault, F3—Pingbian—Jianshui—Shiping Fault, F4— Xiaojiang Fault, F5— Mile—Shizong Fault, F6—Nanpanjiang Fault, F7—Mengzi—Jianshan Fault, F8—Wenshan—Malipo Fault, F9—Lvzhijiang Fault; Fig 1b: Sketch map of eastern Gejiu area, 1— Quaternary sediments, 2— Upper Triassic sandstone and shale of Huobachong Formation, 3—Upper Triassic sandstone and shale of Niaoge Formation, 4— Middle Triassic sandstone and shale, limestone intercalated with meta-basalt, 5— Middle Triassic limestone and dolomite intercalated with meta-basalt of Gejiu Formation, 6— Low Triassic sandstone and shale intercalated with limestone of Yongningzhen Formation, 7—Yanshanian granite, 8—Indonian basalt, 9—Boundary of strata, 10—Fault



图 2 个旧矿区主要断裂野外特征

(a~d: 南北甲界山断裂地表形态和断层岩特征; e~f: 南北向个旧断裂地表形态; g~j: 东西向老熊洞断裂地表形态和断层岩特征; k~l: 东西向仙人洞断裂地表形态)

Fig.2 Basic features of main faults in the Gejiu ore district

(a~d: NS-striking Jiajieshan fault; e~f: NS-striking Gejiu fault; g~j: EW-striking Laoxiongdong fault; k~l: EW-striking Xianrendong fault)

坑、卡房竹林坑+冬瓜林坑和新山岩体周边(自北而南)作为主要测量工作区,依据不同岩性和容矿性差异对节理进行测量和分类,并对节理产状作走向玫瑰花图和节理产状赤平投影图及极点等密度图,得到的构造图如图 3 所示。

综合分析研究,得到矿井内节理发育特征如下:

(1) 塘子凹坑内选择与花岗岩体接触的个旧组碳酸盐岩和远离花岗岩体的大理岩中的节理进行测量,海拔深度为 1 900 m,靠近 3-11-5 号矿体。碳酸盐岩中主要为张性节理,大部分充填黄铜矿脉和磁黄铁矿脉,节理主要以 NNW(10.4%)和 NE 向为主,两组发育程度基本相同,倾角大于 60°。大理岩中节理以张节理为主,绝大部分节理充填矿脉,少部分充填方解石细脉,主要发育北西向(11.2%),其次北东向(图 3-a);

(2) 老厂分矿田选择矿部的大理岩和老卡花岗岩体以及竹叶山坑的碳酸盐岩作为测量层位。大理岩中节理以张节理为主,普遍充填黄铁矿和磁黄铁矿脉,以 NE 向 30°~36°最发育,倾角大于 50°,其次为 NW305°左右,倾角大于 60°,再次为近 N-S

(图 3-b)。老卡花岗岩体中的节理是剪性节理,无充填,以近东西向最为发育,其次 NE45°左右,倾角较陡(图 3-b),为花岗岩侵位扩展过程中形成的节理。竹叶山坑个旧组碳酸盐岩中节理主要为张节理,以 N-S 最为发育(12.4%),倾角大于 60°,其次为 NE 和 NW,倾角为 40°~70°,再次为近 E-W 向,绝大部分节理充填黄铜矿和磁黄铁矿脉,为矿体的重要容矿节理(图 3-c);

(3) 卡房竹林坑+冬瓜林坑内个旧组碳酸盐岩中节理主要为张性节理,以 NE10°~30°最为发育(6.9%),倾角大于 70°,充填有矿脉,为容矿节理,其次为 NW305°±10°,大部分节理可见有矿脉充填(图 3-d);

(4) 卡房新山地区选择新山花岗岩体和外围玄武岩+大理岩中节理为测量对象,新山花岗岩体中节理主要为张节理,无充填,主要为花岗岩侵位过程中岩浆侧向扩展形成的,以 NE60°~66°左右最为发育(8.8%),倾角 80°左右,其次为近 N-S 和 NW(图 3-e);围岩玄武岩+大理岩中节理主要发育张节理,偶见充填脉,以近 N-S(5.9%)和 NNE 向最为发育,其次为 NE 和近 E-W 两组近同等发育(图

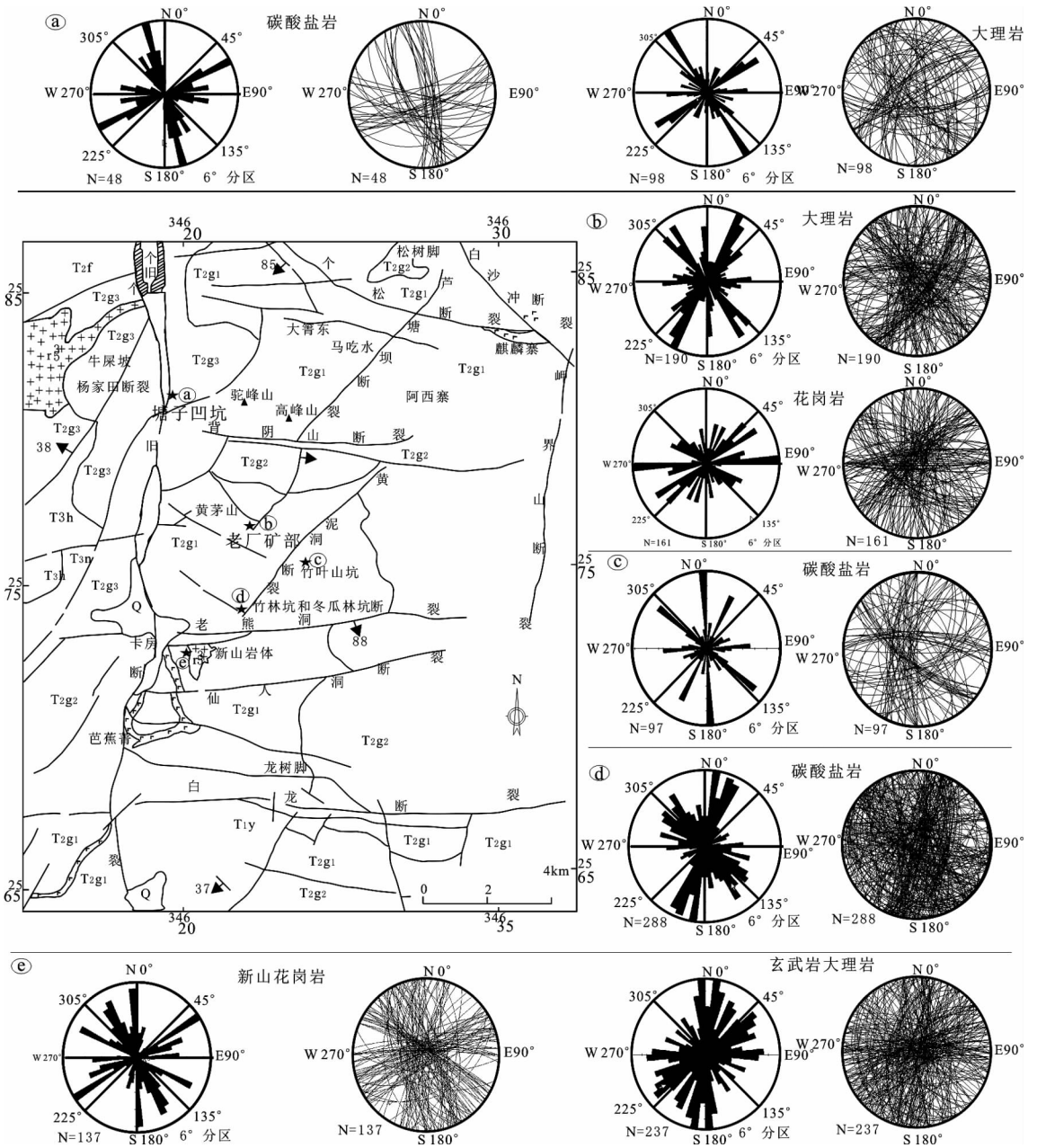


图 3 老厂和卡房矿田矿井内节理走向玫瑰花图和节理产状吴氏网图(下半球投影,图例同图 1.b)

Fig.3 Rose diagrams and stereographic projections of joints in the Laochang orefield and the Kafang orefield

3-e),为花岗岩侵位扩张冷却后期节理。

4.2 松树脚矿田

松树脚矿田位于甲界山断裂以西,以矽卡岩-硫化物型锡矿和层间氧化型锡矿为主。选取松树脚矿田不同深度平台的花岗岩体和碳酸盐岩中的节理作为研究对象,对节理产状进行测量,绘制节理走向玫瑰花图、吴氏网图(下半球投影)和极点等密度图(图 4)。

综合对比分析得到松树脚矿田内节理发育规律如下:(1) 海拔 1 758 m 高程碳酸盐岩中的节理以剪节理为主,优势展布方向为 NE51°~57°(14.5%),倾角约 75°,其次为 NW310°~322°,倾角 50°~70°,再次为近 N-S 向。(2) 海拔 1 630 m 高程花岗岩中节理为剪节理,节理发育优势方位为 NW310°±5°(16%),倾角大于 80°,其余方向节理不发育,为花岗岩岩浆侵位侧向扩展过程中形成的节理。(3) 海拔 1 540 m 平

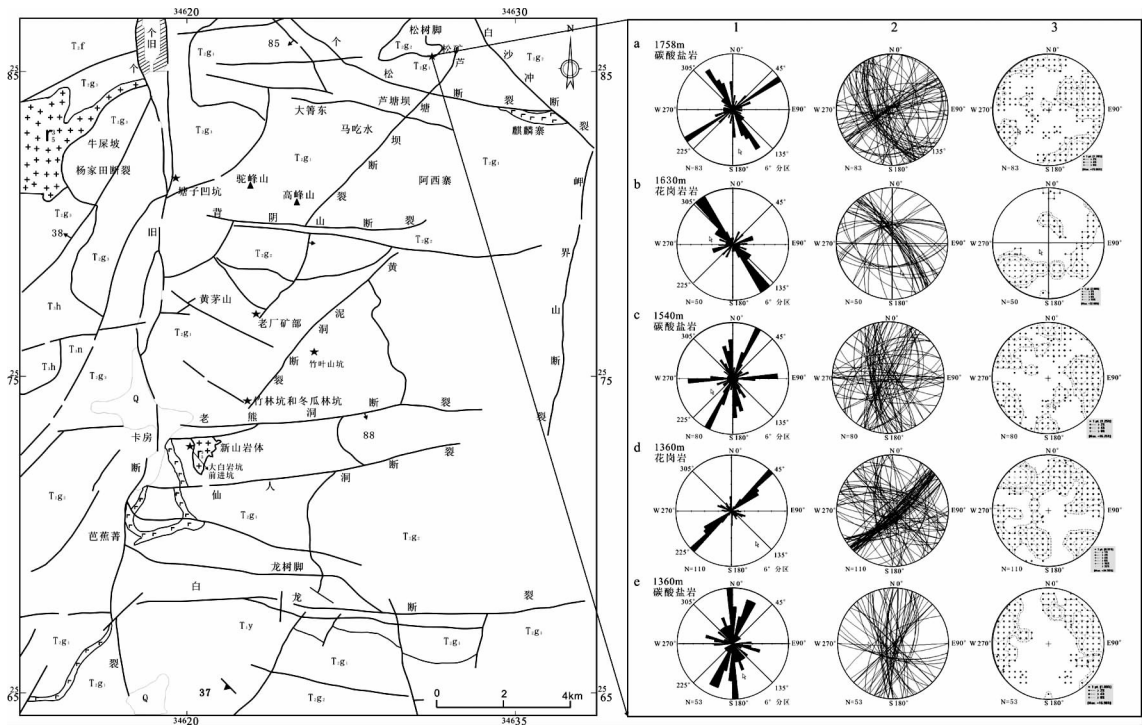


图4 松树脚矿田井下构造统计图

(1—节理走向玫瑰花图,2—节理产状吴氏网图半球投影,3—节理极点等密度图,图例同图1b)

Fig.4 Structural statistical charts of joints in the Songshujiao orefield

(1. Strike rose diagrams of joints; 2. Lower-hemisphere stereographic projections of joints; 3. Contours and griddle densities of joints)

台个旧组碳酸盐岩中节理以张节理为主,优势展布方位为NE(12.5%),倾角30°~80°;其次为近E-W和近N-S,倾角多大于60°,上述几组方向节理均有不同程度的黄铜矿和磁黄铁矿的充填脉,为矿田内主要容矿构造。(4)海拔1360m平台的花岗岩中发育剪节理,优势方位为NE45°左右(20.9%),倾角大于75°,其余方向节理不发育,为花岗岩浆侵位侧向扩展过程中形成节理。(5)高程1360m平台个旧组碳酸盐岩中发育张节理,优势方位为近N-S向(11.3%),倾角大于70°;其次发育NNE向,倾角大于80°,绝大多数节理充填锡铜矿脉,为矿田内容矿构造。

5 讨论

5.1 节理与矿区主要断裂的关系

个旧矿区锡铜矿床在成因上与岩浆岩有着密切的关系。研究揭示矿区锡铜多金属矿床成矿物质普遍来源于印支期玄武岩和燕山期花岗岩^[61-64],特别是中三叠世安尼期玄武岩犹如一个巨大的矿源层,为成矿过程提供重要的成矿物质^[61]。在安尼期玄武岩中,主要成矿元素Cu、Sn、Au、Ag、Pb、Zn的含量都比较高,

是世界玄武岩中含量平均值的若干倍^[64-67]。铜矿床的似层状矿体中硫化物的硫来源于三叠纪玄武岩,而花岗岩岩浆和玄武岩共同为矿区锡铜多金属矿床的接触带型矿体提供成矿所需的大部分硫^[62]。

矿区矿井下花岗岩体和含矿层岩层中的节理发育规律与矿区控矿控岩构造具有极好的继承性和可对比性(图3和图5)。塘子凹坑碳酸盐岩和大理岩中的节理具有较好的一致性,均为NW向最发育,NE向次之;NW向节理为矿区内新近发现的容矿性节理,该组节理在其他矿田内发育不明显或极少发育,且不含矿;而NE向节理受五子山复式背斜轴部、牛坝荒断裂和近E-W向背阴山冲断裂的共同影响。老厂矿部大理岩中NE向节理发育与五子山复式背斜和芦塘坝断裂有关,而NW向节理构造在老厂矿田亦应引起足够重视。老卡花岗岩体近E-W向和NE向节理构造分别受背阴山冲断裂和芦塘坝断裂的影响,与断裂构造近同期发育。竹叶山坑碳酸盐岩中节理构造受NE向黄泥洞断裂和南北向甲界山断裂的共同影响。竹林坑+冬瓜林坑位于新山岩体的北面,节理构造受东西向老熊洞断裂和南北向

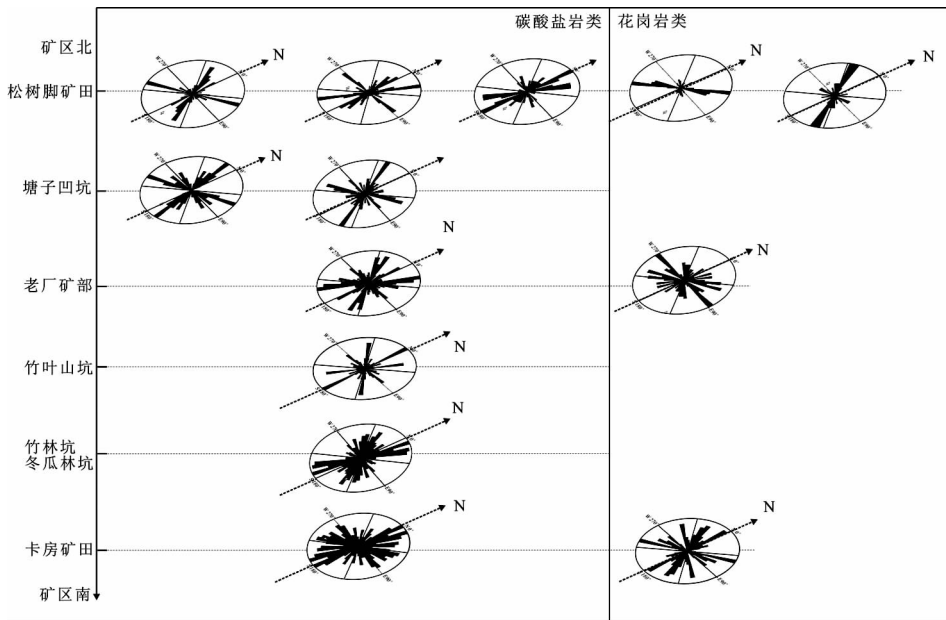


图 5 个旧矿区节理走向玫瑰花南北向变化图

Fig.5 Strike rose diagram of joint change tendency from north to south in the Gejiu mining area

个旧断裂的共同影响。新山花岗岩体内节理明显受五子山复式背斜轴部和个旧大断裂的控制,岩体的围岩中节理发育也显示受五子山复式背斜、个旧大断裂和老熊洞断裂的共同影响,二者的差异很可能是岩石物理性质差异的体现。而碳酸盐岩含矿层中NW向节理与矿区控岩控矿构造没有可对比性,很可能为晚白垩世岩浆事件后成矿流体就位过程之前局部应力场形成的张性节理;新山岩体的NW向节理可能是燕山期花岗岩侵位后与区域范围内红河深大断裂有关。新山岩体外围玄武岩和大理岩中的矿化节理优势方位为NE向和近N-S向,其次为E-W向。新山花岗岩体与围岩中的节理发育规律具有很好的一致性,花岗岩及其围岩中的NE向和近N-S向节理是连通花岗岩体和外围岩体矿化的有利通道,为矿体的形成提供成矿流体运移通道和热驱动力的来源,对成矿流体的运移和沉淀就位具有关键的作用。

塘子凹坑和卡房新山矿田的节理构造明显受五子山复式背斜和东西向断裂(背阴山冲断裂、老熊洞断裂)及南北向个旧断裂的共同影响,NW向节理是新近发现的重要的容矿构造,在东矿区的西部接替资源勘探中具有重要意义,应引起足够的重视。老厂矿部和竹叶山坑的节理明显受五子山复式背斜和北东向芦塘坝断裂的共同影响,关注南北向构造和北

东向构造的同时,北西向容矿构造亦具有一定的勘探意义。东矿区的西部(个旧断裂东侧),矿井内节理以N-S向、NW向、NE向和近E-W向这四组最为发育,NE、E-W和NW是重要的控矿和容矿构造,尤其是NW向构造应引起足够的重视。E-W向节理在花岗岩和玄武岩中发育比较显著,而在碳酸盐岩中发育不明显;NW和NE向构造在碳酸盐类和花岗岩中发育基本相当。

松树脚矿田节理构造发育在垂向深度上具有一定的规律性,亦显示受到甲界山断裂、白沙冲断裂和个松断裂及芦塘坝断裂的共同影响。在1758m高程碳酸盐岩中张节理优势方位为NE 51° ~ 57° 和NW 310° ~ 316° ,充填有矿脉,显示受到白沙冲断裂和芦塘坝断裂及个松断裂的共同影响。1630m高程的花岗岩中节理优势方位为NW 307° ~ 315° ,无充填脉,受白沙冲断裂影响较大。海拔1540m碳酸盐岩中节理优势方位为NE向,其次为近N-S和E-W向,NE和N-S向张节理为矿脉所充填,为矿区内主要容矿构造,E-W向节理含矿性不明显,上述3组节理的发育明显受松树脚矿田边界断裂的影响。1360m高程的花岗岩中只发育NE 45° 左右的剪节理,而碳酸盐岩中张节理主要为近N-S向和NE向,充填黄铜矿脉和磁黄铁矿脉,为矿田内的容矿节理构造,显示受甲界山断裂和芦塘坝断裂的共同影响。

5.2 矿区节理构造南北向和垂向差异

个旧矿区的节理发育在南北向上具有一定的规律(图5)。矿区北部的松树脚矿田和塘子凹坑内碳酸盐岩中节理发育较简单,以南北和北东或北西这两组方向为主,其他方向不发育;花岗岩中节理优势方位明显集中且单一;矿区南部的节理发育复杂多变,优势不明显。矿区西边界个旧断裂以东的塘子凹坑和老厂矿部则发育NW向容矿节理,其他矿区未见该组方向的节理,故在矿区西边界靠近个旧断裂处的勘探工作应密切关注该组方向的断裂和节理构造。塘子凹坑节理以NNW和NE向为主,受五子山复式背斜轴部影响明显;中部老厂矿部和竹叶山坑以近E-W向和NE向为主,受E-W向断裂构造和五子山复式背斜的共同控制;南部卡房矿田以NE向和近E-W及NS向为主,受个旧大断裂和黄泥洞断裂及老熊洞断裂的共同影响。南部的花岗岩体和外围岩体中的节理发育复杂且优势方位多变,往往发育多个方向的节理,受新山花岗岩的侵位影响和北东向控岩控矿断裂和五子山背斜轴部的控制明显,揭示矿区南部的控矿断裂构造更加复杂多变,但主导控矿因素还是南北向和北东向构造。结合矿区地层自南而北逐渐变新,矿区花岗岩的年龄以及矿床类型与花岗岩的关系^[31-33]、构造发育程度等均揭示燕山期岩浆岩侵位的影响由南而北,成矿物质自南而北逐渐扩展成矿。

松树脚矿田的节理发育自上而下(随海拔高程的降低)具有明显的差异性(图6)。随着海拔高程的降低,N-S向节理构造越来越发育;碳酸盐岩中NE向节理在浅部较发育而深部不发育;花岗岩体上部发育NW向而下部发育NE向节理;在碳酸盐岩层位的容矿节理在海拔高处受芦塘坝断裂和白沙冲断裂的影响强烈,而在海拔较低处受甲界山断裂影响显著。由此可见,在不同的高程上容矿节理构造的优势方位是变化的,在不同的开采平台,矿体的优势方位是变化的,应根据具体情况进行资源勘探部署。

5.3 个旧矿区构造体系演化探讨

个旧锡铜多金属矿区的大地构造演化过程经历明显的三大构造期:加里东期、海西—印支期、燕山—喜马拉雅期。其中前两期以褶皱运动为特征,形成区域变质褶皱系;后者以断块运动为特色,伴随较为强烈的中酸性岩浆侵入活动和与之有关的锡多金属矿床叠加改造致富作用^[29]。依据对矿区不同构造

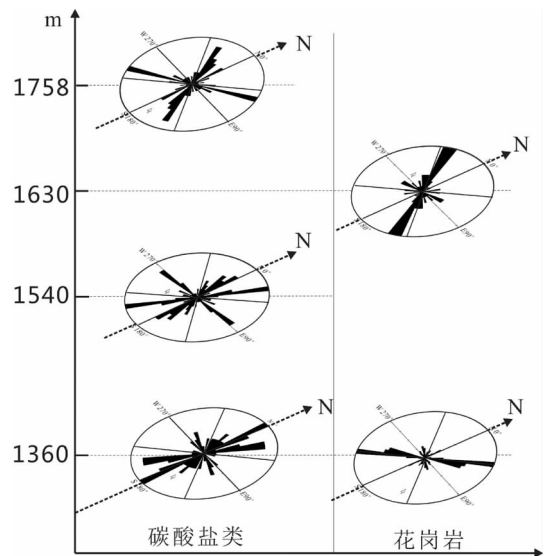


图6 松树脚矿田节理构造垂向变化图
Fig.6 Vertical variation map of strike rose diagram in the Songshujiao orefield

层中不同构造系的观察、节理统计测量和分期配套研究,并结合以往的研究成果,燕山期构造也表现为多期多阶段的特征,进一步划分为四期^[29](图7)。(1)印支晚期—燕山早期,在区域性南北向压应力的作用下,使已固结成岩的碳酸盐岩发生构造变形形成一系列近东西向的褶皱、穹隆和断裂以及与其配套的北东、北西向剪裂隙和南北向张裂隙,并伴随岩浆侵入。这一期为东西向构造系,基本上为成矿前构造,矿区内东西向断裂构造基本形成于该时期。(2)燕山中晚期为成矿期构造,由于太平洋板块与欧亚板块的碰撞,个旧矿区由南北向挤压转为北西—南东向的挤压应力,形成叠加在东西向褶皱之上的北东向褶皱(如五子山复式背斜等)和断裂,北西向断裂形成以压为主兼扭性的破碎带,东西向断裂产生右行活动,北西向断裂形成张裂带,南北向断裂产生左行活动,并伴随剧烈的中酸性岩浆侵位。矿区南部的老厂和卡房分矿田内,花岗岩体中发育N-S、E-W、NE、NW向节理;而碳酸盐岩含矿层中发育NE、NW和N-S向容矿节理;花岗岩体和碳酸盐岩中的NE和N-S向节理,是连通花岗岩体与含矿层的热源、水源和矿源的有利通道。矿区东北部的松树脚矿田,花岗岩体中节理发育相对单一和简单,碳酸盐岩含矿层中容矿节理以N-S、NE、E-W向为主,也是热源、水源和矿源的运移通道。依据矿区内应力

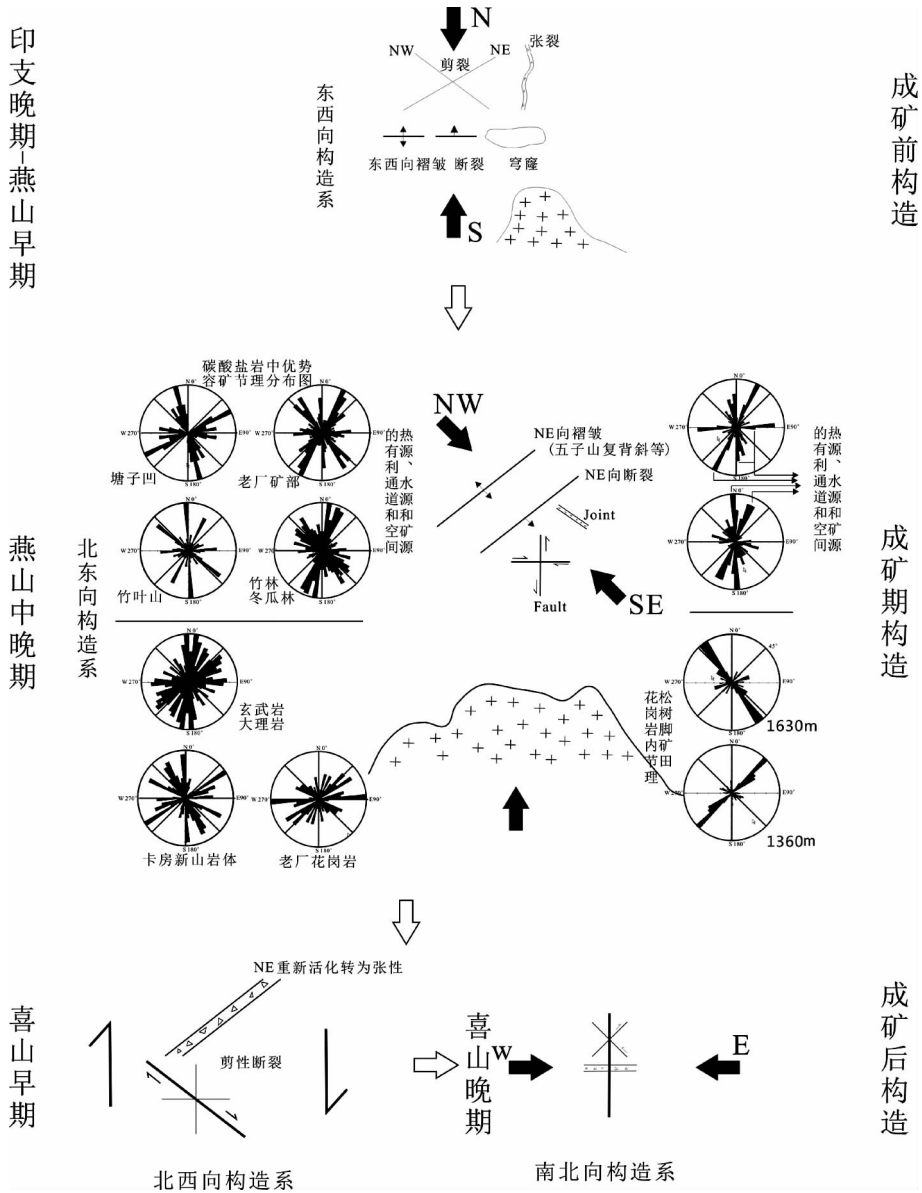


图 7 个旧矿区成矿构造体系图
 Fig.7 Ore-forming structural system map of the Gejiu mining area

场分析,塘子凹坑和老厂矿部的 NW 向节理构造极有可能是五子山复背斜形成之后的燕山中晚期 NW-SE 向挤压,NE-SW 向拉伸应力场过程中,在背斜两翼形成的节理构造,是成矿期或近同期的张性节理,故均有矿脉充填(图 7)。由于该时期区域构造应力场的转换,断裂力学性质发生变化,北东向褶皱叠加在先存的东西向褶皱之上形成隆起,控制岩体侵位和形态变化。各地质体相互作用促使元素活化转移而形成含矿溶液,沿北东向褶皱翼部、北东向与东西向断裂交汇部位,形成重要的锡多金属矿床。

- (3)喜山早期,转为南北向顺时针向剪切作用,断裂构造重新活化,形成北西向构造系及配套的北东向张性断裂,东西、南北向剪性断裂,为成矿后构造。
- (4)喜山晚期,南北向顺剪转为东西向挤压,形成南北向压性断裂及配套的北东、北西向剪性断裂及东西向张性断裂,亦为成矿后构造。

6 结论

个旧矿区岩浆岩体和碳酸盐岩地层中的节理测量统计分析揭示矿田内的节理优势方位具有一定的

规律性,并与矿区边界断裂构造和矿区内主要控矿控岩构造具有很好的配套性。本文通过对矿田内节理的测量,并作构造统计图,进而与矿区内构造分析对比得到以下几个方面的认识:

(1)矿区内矿体明显受 NE 向五子山复式背斜和 E-W 向及 NE 向断裂构造的控制作用。矿区内主要控矿和容矿断裂构造和容矿节理的展布方位为近 N-S、NE、NW 和近 E-W 向。其中 NW 向容矿节理构造是新近矿井地质工作中发现的,在矿区靠近个旧断裂的地区尤其明显。在勘探工作和生产部署中,需密切关注该组方向的节理构造,应引起足够的重视。

(2)花岗岩中节理发育在矿区南北部具有差异性。矿区东北部节理优势单一且集中,以 NW306°~312°和 NE45°左右为主;南部节理优势方位复杂且多变,以 NE50°、N-S、E-W、NW312°~324°和 NW280°左右为主要方向,其他方向节理也发育。碳酸盐岩中节理发育亦显示出矿区北部优势明显且简单,矿区南部优势方向复杂且多变。

(3)松树脚分矿田的节理构造统计分析表明节理构造在不同的海拔高程其优势展布方位存在差异性。节理在垂向上具有规律性,从浅部至深部方向上,碳酸盐地层中浅部以 NE50°为主,深部以近 N-S 向为主;花岗岩浅部以 NW306°~312°为主,深部变为 NE45°左右。

(4)矿区西部靠近个旧断裂地区节理发育在南北向方向上也存在差异。北部节理以 NW 和 NE 向为主,受五子山复式背斜影响明显;中部以近 E-W 向和 NE 向为主,受 E-W 向断裂构造和五子山复式背斜的共同控制;南部以 NE 向和近 E-W 及 N-S 向为主,受个旧大断裂和黄泥洞断裂及老熊洞断裂的共同影响。

(5)卡房分矿田内花岗岩体和碳酸盐岩中均发育 NE 向和近 N-S 向节理。这两组节理是连结花岗岩体和外围岩层矿化的有利通道,为矿体的形成提供成矿流体运移通道和热驱动力的来源,对成矿流体的运移和沉淀就位具有关键的作用。

参考文献(References):

[1] 庄永秋,王任重,杨树培,等. 云南个旧锡铜多金属矿床 [M]. 北京:地震出版社,1996.
Zhuang Yongqiu, Wang Renzhong, Yang Shupe, et al. Gejiu Tin

(Cu) Polymetallic Ore Deposits in Yunnan [M]. Beijing: Seismological Press, 1996(in Chinese).

[2] 邓玉书. 云南个旧锡矿和构造的关系 [J]. 地质论评, 1951, 16(2): 57-66.
Deng Yushu. The relationship of tin ore field with structures in Gejiu deposit, Yunnan[J]. Geological Review 1951, 16, 2:57-66(in Chinese).

[3] 冯贤仁. 个旧含锡花岗岩副矿物类型、成因与矿化关系 [J]. 云南地质, 1982, 1:129-133.
Feng Xianren, The accessory mineral of the granites in Gejiu ore district, and its genesis and relationship with mineralization [J]. Yunnan Geology 1982, 1:129-133(in Chinese).

[4] 汪志芬. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题 [J]. 地质学报, 1983, 57:154-163.
Wang Zhifen. Some problems on the mineralization of tin deposit in Gejiu, Yunnan [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57, 154-163(in Chinese with English abstract).

[5] 冶金工业部西南冶金地质勘探公司 308 地质队. 个旧锡矿地质 [M]. 北京:冶金工业出版社, 1984:50-79.
Ministry of metallurgical industry southwest metallurgical geological prospecting company (308 team). Geology of Tin Deposit in Gejiu area [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1984:50-79(in Chinese).

[6] 伍勤生, 刘青莲. 个旧含锡花岗岩杂岩体的成因演化及成矿 [J]. 桂林工学院学报, 1986, 6:229-238.
Wu Qinsheng, Liu Qinglian. Study on the genesis evolution and mineralization of tin-bearing granite complex in Gejiu area [J]. Journal of Guilin University of technology, 1986, 6:229-238(in Chinese).

[7] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含锡花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究 [J]. 地球化学, 1984, 4:293-302.
Wu Qinsheng, Xu Junzhen, Yang Zhi. Study on Sr isotope character and prospecting criteria of tin-bearing granite of Gejiu area [J]. Geochemica, 1984, 4, 293-302(in Chinese).

[8] 彭程电. 试论个旧锡矿成矿条件及矿产类型、模式 [J]. 云南地质, 1985, 4:154-163.
Peng Chengdian. A discuss on the condition, type and model of Gejiu tin deposit [J]. Yunnan Geology, 1985. 4:17-32(in Chinese).

[9] 赵一鸣, 李大新. 云南个旧锡矿床花岗岩接触带的交代现象 [J]. 中国地质科学院院报, 1987, 第 16 号, 237-252.
Zhao Yiming, Li Daxin. Metasomatic phenomena in the granite contact zones of the Gejiu tin deposit, Yunnan Province, China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1987, 16: 237-252.

[10] 赵一鸣, 李大新, 蒋崇俊. 云南个旧锡矿床的氟硼质交代岩及某些罕见交代矿物的发现 [J]. 地球学报, 1990, 11(1):70-72.
Zhao Yiming, Li Daxin, Jiang Chongjun. F-B-metasomatites and

- discovery of some rare metasomatic minerals in Gejiu tin deposit, Yunnan, China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1990, 11, 1:70-72.
- [11] 王新光, 朱金初, 沈渭洲. 个旧锡矿田两个主要成矿花岗岩的对比研究及其地质和找矿意义 [J]. 南京大学学报 (地球科学版), 1990:66-75.
- Wang Xinguang, Zhu Jinchu, Shen Weizhou. The study on the comparison of two main ore-forming granite and its geological and prospecting significance [J]. Journal of Nanjing University (Earth science edition), 1990:66-75.
- [12] 王新光, 朱金初. 个旧花岗岩的成因、演化及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 1992, 16:379-387.
- Wang Xinguang, Zhu Jinchu. The genesis, evolution and significance of granites in Gejiu [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1992, 16:379-387.
- [13] 朱金初, 王新光, 殷成玉. 个旧锡矿区不同岩石中锡的富集特征及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 1991, 6(2):11-16.
- Zhu Jinchu, Wang Xinguang, Fu Chengyu. Existing forms of Tin in different rocks and metallogenetic model of Gejiu Tin field[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1999, 6, 2:11-16(in Chinese with English abstract).
- [14] 罗君烈. 滇东南锡、钨、铅、锌、银矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 14:319-332.
- Luo Junlie. The metallogenetic model of Tin, Tungsten, Lead-Zinc, Silver ore-field in the Southeastern of Yunnan [J]. Yunnan Geology, 1995, 14:319-332(in Chinese).
- [15] 戴福盛. 个旧矿区壳源重熔岩浆岩岩石系列特征、演化及其成矿作用[J]. 云南地质, 1996, 15:330-344.
- Dai Fusheng. Characteristics and evolution of rock series, lithogenesis, metallogenesis of crust-derived anatectic magma in Gejiu ore district [J]. Geology of Yunnan, 1996, 15, 330-344(in Chinese with English abstract).
- [16] Jiang Zhuwei, Nicholasho H S, Terence D B, et al. Numerical modeling of fault-controlled fluid flow in the genesis of tin deposits of the Malage ore field, Gejiu mining district, China [J]. Economic Geology, 2001, 92:228-247.
- [17] 王永磊, 裴荣富, 李进文, 等. 个旧老厂矿田花岗岩地球化学特征及其形成构造环境[J]. 地质学报, 2007, 81:979-985.
- Wang Yongli, Pei Rongfu, Li Jinwen, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Laochang granite in Gejiu [J]. Acta Geology Sinica, 2007, 81:979-985 (in Chinese with English abstract).
- [18] 金祖德. 个旧土状赤铁矿型锡矿成因的商榷 [J]. 地质与勘探, 1981, 17:32-34.
- Jin Zude. The discussion on the genesis of earthy hematite-type Gejiu tin deposit [J]. Geology and Exploration, 1981, 17:32-34(in Chinese).
- [19] 金祖德. 个旧层间赤铁矿锡矿热液成因之否定 [J]. 地质与勘探, 1991, 27:19-20.
- Jin Zude. The denial of hydrothermal genesis of manto hematite type tin deposit in Gejiu [J]. Geology and Exploration, 1991, 27, 19-20(in Chinese).
- [20] 彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷 [J]. 云南地质, 1992, 11:362-368.
- Peng Zhangxiang. The discussion on the metallogenic model of Gejiu Tin ore-field [J]. Yunnan Geology, 1992, 11:362-368(in Chinese).
- [21] 周怀阳. 论个旧—大厂地区火山喷气沉积—花岗岩热液叠加改造型锡石硫化物矿床的地质特征及其成矿地质条件[D]. 南京: 南京大学博士研究生学位论文, 1988.
- Zhou Huaiyang. Metallogenic Condition and Geological Character of the Gejiu-Dachang Sedex-granite related Cassiterite Sulphide Ore Deposit [D]. The doctor degree dissertation of Nanjing University, Nanjing, 1988(in Chinese with English abstract).
- [22] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南锡多金属矿床成因商榷[J]. 云南地质, 1997, 16:309-349.
- Zhao Jianping, Xu Keqin, Hua Renmin, et al. A discussion on genesis of the Tin polymetallic sulfide deposits of Southeastern Yunnan [J]. Yunnan Geology, 1997, 16, 309-349(in Chinese with English abstract).
- [23] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南喷流沉积块状硫化物特征与矿床成因[J]. 矿物学报, 1998, 18:158-168.
- Zhao Jianping, Xu Ke-qin, Hua Ren-min, et al. Characteristics and genesis of exhalative sedimentary massive sulfides in Southeastern Yunnan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18:158-168(in Chinese with English abstract).
- [24] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 个旧等锡矿中沉积组构发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展, 1999, 9:419-422.
- Zhao Jianping, Xu Keqin, Hua Renmin, et al. The first discover of sedimentary fabrics in Gejiu Tin deposit and its relationship with ore genesis [J]. Progress in Natural Science, 1999, 9:419-422(in Chinese).
- [25] 张欢, 高振敏, 马德云, 等. 云南个旧锡矿床成因研究综述[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3):70-75.
- Zhang Huan, Gao Zhenming, Ma Deyun, et al. The genesis of the Gejiu tin deposit—a review [J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31(3):70-75(in Chinese with English abstract).
- [26] 张欢, 童祥, 武俊德, 等. 个旧锡矿——红海型热水沉积登陆的实例[J]. 矿物学报, 2007, 27:335-341.
- Zhang Huan, Tong Xiang, Wu Junde, et al. Gejiu tin-polymetallic ore deposit: An example of landing of red sea-type submarine hydrothermal deposition [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27,

- 335-341(in Chinese with English abstract).
- [27] 秦德先, 黎应书, 范国柱, 等. 个旧锡矿地球化学及成矿作用演化[J]. 中国工程科学, 2006, 8(1):30-39.
Qin Dexian, Li Yingshu, Fan Guozhu, et al. The geochemistry and mineralization evolvement of Gejiu Tin ore deposits[J]. Engineering Science, 2006, 8(1):30-39(in Chinese with English abstract).
- [28] 秦德先, 黎应书, 谈树成, 等. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 2006, 41(1):122-132.
Qin Dexian, Li Yingshu, Tan Shucheng, et al. Metallogenic ages of gejiu tin ore deposit in Yunnan Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(1):122-132(in Chinese with English abstract).
- [29] 秦德先, 黎应书, 等. 个旧锡铜多金属矿床地质研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Qin Dexian, Li Yingshu, et al. Study of Gejiu Sn-Cu Polymetallic Mineral Deposit[M]. Beijing: Science Press, 2008(in Chinese).
- [30] 王力. 个旧锡铜多金属矿集区成矿系列、成矿演化及成矿预测研究[D]. 长沙: 中南大学博士学位论文, 2004.
Wang Li. Researches on metallogenic series, metallogenic evolution and metallogenic prognosis in the Gejiu Tin-Copper polymetallic ore-concentrating district [D]. The doctoral dissertation of Central South University, Changsha, 2004.
- [31] 毛景文, 程彦博, 郭春丽, 等. 云南个旧锡矿田: 矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报, 2008, 82(11):1455-1467.
Mao Jingwen, Cheng Yanbo, Guo Chunli, et al. Gejiu tin polymetallic ore-field: deposit model and discussion for several points concerned [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (11):1455-1467 (in Chinese with English abstract).
- [32] 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3):336-344.
Yang Zongxi, Mao Jingwen, Chen Maohong, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of muscovite from Laochang veinlet-like Sn deposit in Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2009, 28 (3):336-344 (in Chinese with English abstract).
- [33] Cheng Yanbo, Mao Jingwen. Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: constraints on their petrogenesis and tectonic setting[J]. Lithos, 2010, 120:258-276.
- [34] 黎应书. 云南个旧玄武岩及其成矿作用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学博士研究生学位论文. 2005:1-186.
Li Yingshu. Research on Basalt and Its Metallogenesis in Gejiu, Yunnan [D]. Kunming: The Doctoral Dissertation of Kunming University of Science and Technology. 2005:1-186 (in Chinese with English abstract).
- [35] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(3):326-335.
Li Yingshu, Qin Dexian, Dang Yutao, et al. Mineralizations in basalts of the Gejiu tin deposit in Yunnan Province [J]. Journal of Jilin University (Earth science edition), 2006, 36 (3):326-335(in Chinese with English abstract).
- [36] 黎应书, 秦德先, 洪托, 等. 个旧东区印支期玄武岩的控矿作用[J]. 有色金属(矿山部分), 2007, 59(1):26-29.
Li Yingshu, Qin Dexian, Hong Tuo, et al. The ore-controlling of basalt of the Indo-Chinese epoch in eastern Gejiu, Yunnan Province [J]. Nonferrous Metals, 2007, 59 (1):26-29 (in Chinese with English abstract).
- [37] 黎应书, 秦德先, 郭宁宁, 等. 个旧东区印支期玄武岩大地构造环境及其成矿意义[J]. 有色金属, 2009, 61(2):104-109.
Li Yingshu, Qin Dexian, Guo Ningning, et al. Geotectonic setting and mineralization significance of Indo-Chinese epoch basalt in eastern Gejiu of Yunnan[J]. Nonferrous Metals, 2009, 61(2):104-109(in Chinese with English abstract).
- [38] 贾润幸. 云南个旧锡矿集中区地质地球化学研究[D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2005.
Jia Runxing. The geology and geochemistry study on the Gejiu concentrating area[D]. The doctor degree dissertation of Northwest University, Shaanxi Province, Xi'an, 2005(in Chinese with English abstract).
- [39] 莫国培. 个旧超大型锡多金属矿区花岗岩成因类型[J]. 矿产与地质, 2006, 24(4/5):413-417.
Mo Guopei. Genetic type of granites in Gejiu super large tin polymetallic deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 24 (4/5):413-417(in Chinese with English abstract).
- [40] 徐启东, 夏庆霖, 成秋明. 云南个旧矿集区区域构造—岩浆演化与锡铜多金属成矿系统[J]. 地球科学, 2009, 34(2):307-313.
Xu Qindong, Xia Qinglin, Cheng Qiuming. Tectono-magmatic evolution related to Metallogenic system in Gejiu ore-concentration area, southeast Yunnan of China [J]. Earth Science—Journal of China university of Geosciences, 2009, 34 (2):307-313(in Chinese with English abstract).
- [41] 张耀敏. 个旧东区玄武岩型锡铜多金属矿床成矿特征与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学硕士研究生学位论文, 2007.
Zhang Yimin. The Metallogenic Features and Ore-forming Prediction of Basalt Type Tin-copper Polymetallic Deposit in the East Area of Gejiu [D]. Beijing: The Master Degree Dissertation of China University of Geosciences, 2007(in Chinese with English abstract).

An analysis and measurement of joints developed in typical orefields of the Gejiu tin-copper polymetallic ore concentration area, Yunnan Province

LI Bao-long¹, MAO Jing-wen¹, MO Guo-pei², CHEN Xing-shou², ZHU De-quan³

(1. MLR Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Production Department of Yunnan Tin Industry Group Company Co., Ltd., Gejiu 650000, Yunnan, China; 3. 8th Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Rizhao 276826, Shandong, China)

Abstract: Gejiu is one of the largest polymetallic tin ore concentration areas in the world and belongs to a granite-related magmatic-hydrothermal system. Its ore-controlling structural characteristics are very obvious. In this paper, the authors selected the joints developed in the Songshujiao orefield, Laochang orefield and Kafang orefield as the research objects, measured and statistically analyzed the modes of occurrence of joints developed in tunnels in combination with surface, and made a comparative analysis of the rock-controlling structures and ore-controlling structures. Statistics show that the variation regularity of the predominant joints within the orefields has several characteristics from north to south and in vertical direction: 1) the main predominant ore-hosting joints are in NE, NW, NS and EW directions, especially the NW-trending joints constitute an important ore-hosting structure in recent exploration and development of the western segment of the ore concentration area. 2) The predominant directions of the joints developed in granite are different in the north and south parts of this mining area. The directions of joints in the north part are single and concentrated, being mainly NW306°-312° and NE45°, while orientations of the joints in the south part are complex and are mainly NE50°, N-S, EW, NW312°-324° and WNW280°. 3) Statistical measurements and analyses of the joints in the carbonate rocks suggest that the joint development in the north segment is relatively simple, while that in the south part of the mining area is complex. 4) The joints in the Songshujiao orefield show some regularity in the vertical direction. From surface to the depth, the orientation of joints in carbonate strata is NE50° in the shallow part and NS-striking in the depth; the orientation of joints in the granite is mainly NW306°-312° in the shallow part and NE45° in the depth. The regional stress field of middle-late Yanshanian metallogenic period in Gejiu area was NW-SE trending compressive stress and then converted into the NS trending reverse shear stress. The newly discovered NW-trending ore-hosting joints constitute an important structure in the west segment, and the scales, advantages and origins of the ore-hosting joints in the north segment and the south segment of the mining area are obviously different. These phenomena deserve much attention in the further exploration and prospecting work. The NE and NS trending joints connected the granite body with carbonate rocks and served as the channels of heat, water and ore source. The results obtained by the authors will provide geological structural evidence for the relationship between ore field structures and mineralization and can guide further ore-prospecting work in the depth and the outskirts of the ore district.

Key words: orefield structure; mineralized joint; tin-copper polymetallic ore concentration area, Gejiu of Yunnan Province

About the first author: LI Bao-long, male, born in 1982, assistant researcher, engages in the study of ore field structure; E-mail: xinzhongguolong@163.com.