

doi: 10.11720/wtyht.2021.1401

刘成功, 景建恩, 金胜, 等. 广西大厂矿田深部成矿预测及成矿机制研究[J]. 物探与化探, 2021, 45(2): 337-345. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1401>

Liu C G, Jing J E, Jin S, et al. A study of deep metallogenic prediction and metallogenic mechanism of the Dachang deposit in Guangxi[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2): 337-345. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1401>

广西大厂矿田深部成矿预测及成矿机制研究

刘成功^{1,2}, 景建恩^{1,3}, 金胜^{1,3}, 魏文博^{1,3}

(1. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊 065000; 3. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 大厂矿田作为大型锡多金属矿之一, 成矿演化过程复杂, 隐伏矿产资源繁多。为了研究大厂矿田笼箱盖岩体外围隐伏矿床的分布位置和成矿机制, 对覆盖大厂矿田的音频大地电磁数据进行精细的处理, 得到了地下 3 km 以内的二维电性结构模型。根据电性资料结果, 推断了隐伏花岗岩和矿体的位置。花岗岩呈高阻特征, 埋深约 1.5 km, 沿断裂构造成脊状隆起; 低阻矿体位于花岗岩顶部中泥盆统地层中, 推测矿体发育自底部花岗岩体, 表明花岗岩具有明显的控矿作用。根据大厂矿田近铜远锡的分带特点和地表元素异常, 以找到矽卡岩型锌铜矿体和锑钨矿床的可能性最大。研究表明, 晚白垩世时期, 中、下地壳(及少量上地幔)岩浆热液沿 NW 向基底断裂上涌到地壳浅层泥盆系地层, 后经结晶分异与围岩产生成矿作用。

关键词: 大厂矿田; 音频大地电磁测深; 电阻率; 成矿预测; 成矿机制

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2021)02-0337-09

0 引言

矿产资源是人类社会和经济发展的物质基础, 由于浅层矿产资源不断开采而日趋减少, 深部矿产资源勘查成为世界各国的勘查重点, 寻找和开发深部隐伏矿床已成为矿产资源勘查的新内容和新挑战, 也是解决危机矿山, 延长矿山服务寿命的有效途径^[1]。深部找矿存在诸多困难和不确定因素, 地球物理方法作为开展深部找矿工作的主要技术手段之一, 越来越受到矿产勘查领域的重视^[2-3]。

广西大厂矿田是世界知名的锡(Sn)多金属矿田之一, 成矿条件优越, 已探明大、中型矿床数十个, 产有丰富的锡、锌、银、锑、铜、汞、钨等多种矿产资源。大厂矿田浅部至中深部已发现有长坡—铜坑矿床、巴力矿床、瓦窑山矿床、大福楼矿床、灰乐矿床、亢马矿床等高温岩浆热液型锡矿床, 以及黑水沟—

大树脚锌铜矿、拉么矿床等接触交代型锌铜矿床和茶山锑钨矿产^[4-6]。经过几十年的开采, 现有可开采资源储备严重不足, 迫切需要增加矿山的资源储量, 以延长矿山的开采寿命。目前, 大厂矿田西矿带除黑水沟—长坡矿区, 其他大部分已知矿床的勘查深度不超过 600 m, 已知矿床周边和深部成矿条件好, 限于前人的勘查技术, 留下了大量“空白区”^[7]。NW、NE 向断裂构造附近, 隐伏岩体接触带及其附近的找矿远景良好; 沿响水湾至茶山一线都有寻找钨锑和锌铜矿的前景^[8-9]。

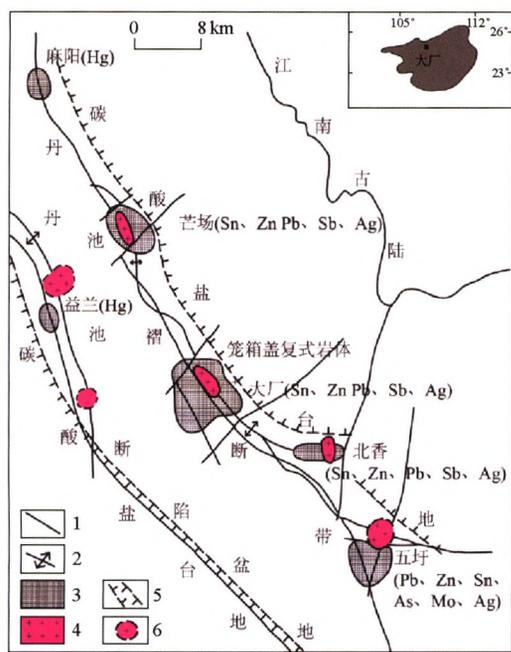
音频大地电磁测深(AMT)法具有探测深度大、操作方便、对低阻层反应灵敏等优点, 在矿产资源勘查方面得到了广泛应用^[10-11]。本文为研究大厂矿田笼箱盖花岗岩体外围隐伏矿床的分布, 对矿集区的 AMT 数据进行精细处理, 得到地下 2 500 m 深度的电阻率模型, 结合已有的地球物理和岩石物性资料, 确定花岗岩体和隐伏矿体的位置, 并讨论大厂矿

收稿日期: 2020-08-11; 修回日期: 2020-10-05

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0602504)

作者简介: 刘成功(1992-), 男, 研究生, 主要研究方向为电磁法数据处理与正反演。

通讯作者: 景建恩(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电磁法数据处理与正反演的教学与研究工作。Email: jje2008@cugb.edu.cn



1—断裂;2—背斜;3—矿田;4—花岗岩;5—槽盆界限;
6—推测花岗岩体
1—fracture; 2—anticline; 3—ore field; 4—granite;
5—basin boundary; 6—speculative granite

图1 丹池成矿带构造和矿产分布(据徐新煌等^[12]修改)
Fig.1 Structure and mineral distribution map of The Danchi metallogenic belt (modified by Xu Xinhuang et al^[12])

田的成矿机制。

1 地质环境

华南是我国 Sn、W、Sb 及其他有色金属矿产资源最为丰富的地区,广西大厂矿田位于华南加里东褶皱系和扬子地台交接部位,具体位于江南古陆西南缘、右江盆地北东侧、NW 向丹池褶断带中段^[12-13](图1)。受丹池断裂带的控制,区内出露中泥盆统生物礁灰岩、粉砂岩和页岩,上泥盆统灰岩和硅质页岩,石炭系至二叠系页岩、粉砂岩和石灰岩,夹杂少量的二叠系灰岩和砂岩(图2)。主要赋矿地层为泥盆系纳标组(D_{2n})、罗富组(D_{2l})、榴江组(D_{3l})、五指山组(D_{3w}),同车江组(D_{3t})中矿化较弱^[14]。矿田内的主要构造为 NNW 向的复式褶皱,NW 向丹池背斜和丹池断裂带组成了区内构造格架,NE、SN 及 EW 向构造叠加其上^[15-16]。

在 NW、NE 两组断裂的交汇部位,岩浆活动极其发育,以燕山中—晚期中酸性浅成岩为主。区内产出的岩石类型有花岗岩、花岗斑岩、闪长玢岩等。岩浆岩主要出露于大厂矿田中部的龙箱盖一带,地表分布面积较小,仅 0.5 km²,经钻孔资料和重、磁的研究结果发现,地表出露的小岩体下部存在一个巨大的隐伏

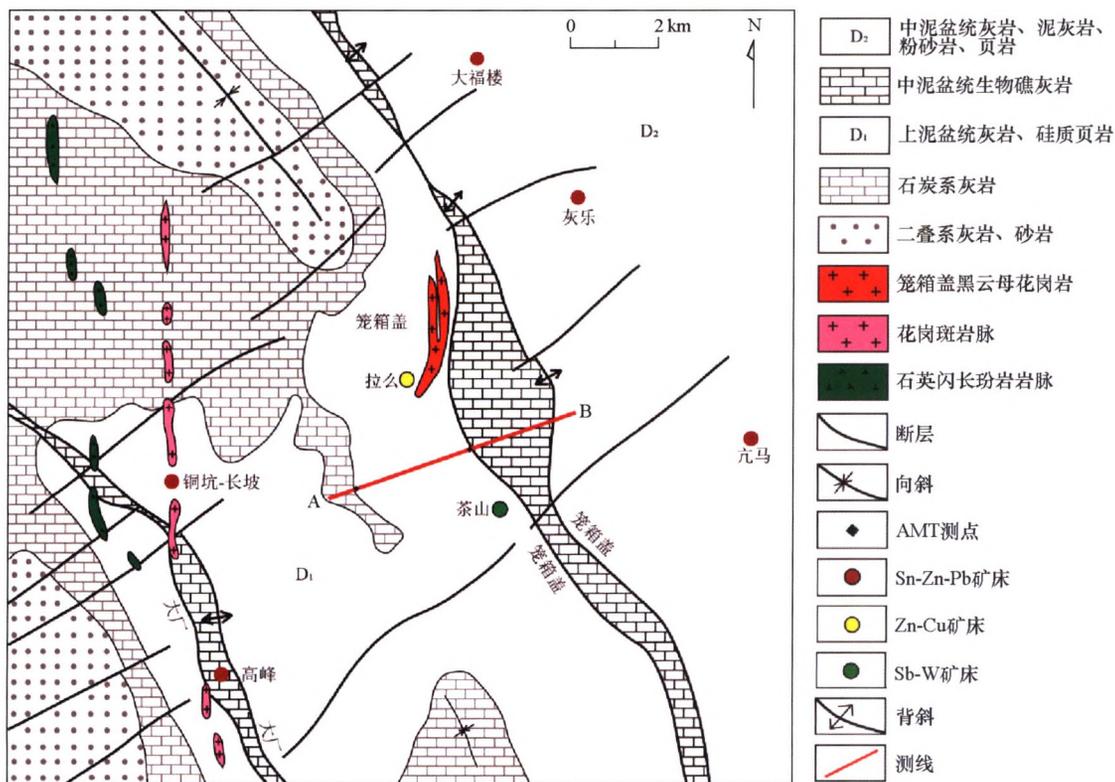


图2 大厂矿田地质构造及矿产分布(据蔡明海等^[16]修改)

Fig.2 Geological structure and mineral distribution map of the large factory ore field (modified by Cai Minghai et al^[16])

岩株,并延伸到了西矿带的巴里、铜坑、长坡矿区深部^[17-19]。根据 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法确定,笼箱盖花岗岩中黑云母花岗岩的年代为 93 ± 1 Ma,斑岩花岗岩的年代为 91 ± 1 Ma,花岗斑岩的年代为 91 ± 1 Ma,闪长斑岩的年代为 91 ± 1 Ma,均属于燕山期热事件的产物^[20-21]。拉么砣卡岩铜锌矿床(图 2)^[16]位于上泥盆统灰岩与花岗岩体的接触带;铜坑—长坡、巴厘、龙头山、大福楼、灰乐、亢马多锡金属矿沿花岗岩的东西边缘分布。花岗岩中主要成矿元素 Sn、Cu、Sb、W、Ag 的含量一般高于其他花岗岩平均值的数倍或数十倍,因此,花岗岩分布区域是寻找矿体的有利靶区^[22]。

2 AMT 数据处理

为了研究大厂田深部隐伏矿体的分布特征,在大厂矿田中段布设了 1 条音频大地电磁测深 (AMT) 剖

面(见图 2),测线全长约 6000 m,方位 NE20°,横跨笼箱盖断裂和笼箱盖背斜构造。野外数据采集使用加拿大凤凰公司 MTU-5A 型大地电磁测深仪,数据采集过程中采用张量测量方式布极,每个测点测量 2 个磁场分量 (B_x, B_y) 和 2 个相互正交的水平电场分量 (E_x, E_y)。大地电磁测深点采集过程中使用 GPS 同步观测,采集时间均在 4~5 h。对采集的原始时间序列数据进行快速傅立叶变换,将时间域信号转变为频率域数据,再通过 Robust 估计、远参考、功率谱挑选等技术处理,获得了高质量的阻抗数据。图 3 给出了 A04 测点和 A10 测点的视电阻率和相位曲线。

阻抗二维偏离度也是描述地下介质构造维度的重要指标,根据维性分析结果,剖面二维偏离度基本都小于 0.3,呈现二维构造特征。同时,研究表明,大厂矿田矿脉严格受到呈二维 NW 向控矿构造的制约,本文采用的 AMT 测线是垂直于构造走向布设的,因

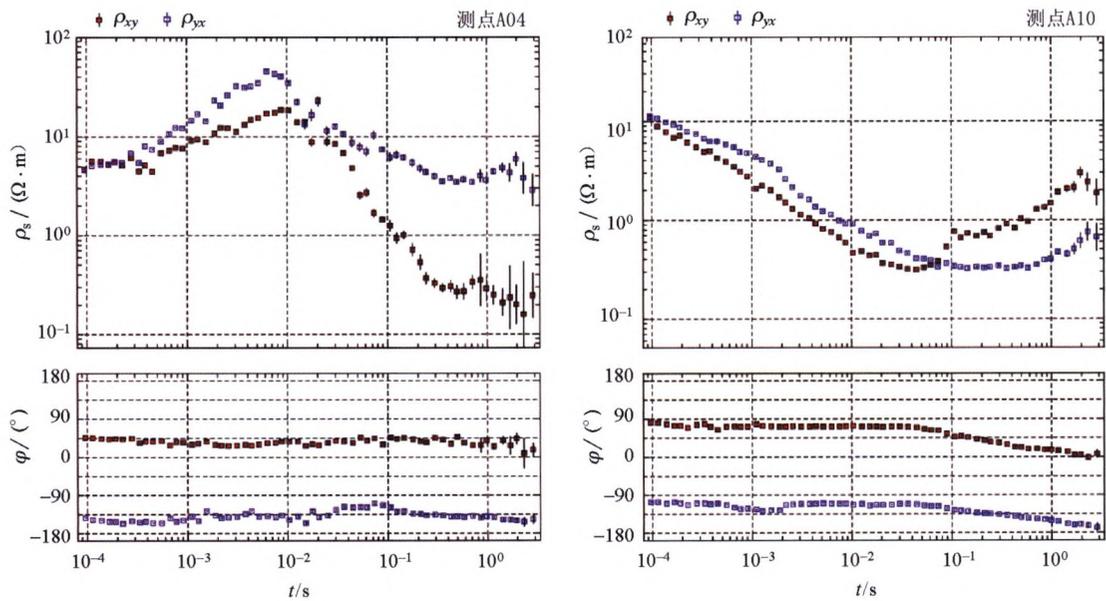


图 3 部分测点的视电阻率和相位

Fig.3 Apparent resistivity and phase diagram of some measuring points

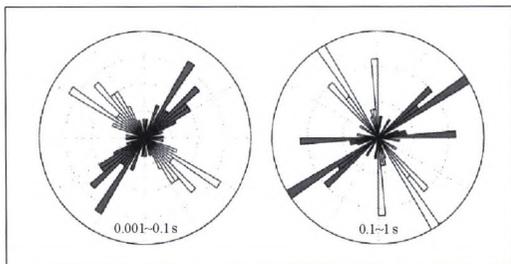


图 4 电性主轴分频统计结果

Fig.4 Strike analysis results for the specific corresponding frequency band

此,对测线 AMT 数据进行二维反演建模是合理可行的。采用 G-B 阻抗张量分解技术^[23]进行电性主轴分析,存在 60°和 150°两个优势主轴方向(图 4),由于本区主要为 NW 向断裂构造,由此确定电性主轴方向为 NE150°,据此将阻抗数据旋转到电性主轴方向。为克服三维畸变的影响,实践中多采用 TM 或 TE+TM 联合模式进行大地电磁数据二维反演^[24]。本文应用非线性共轭梯度(NLCG)算法^[25]对 AMT 数据选取 TE+TM 模式的数据参与反演。对于 AMT 剖面 TE+TM 数据反演参数设置为:TE 模式视电阻率误差为 20%,相位误差为 10%,TM 模式视电阻率误差为 10%,相位误

差为 5%, 采用 L 曲线法^[26] 确定正则化因子为 5 (图 5), 迭代 168 次后, 获得大厂矿区中部二维电阻率模型 (图 6)。

3 电性结构分析

矿区岩矿石标本电阻率测试数据统计结果: 矿石 0.5~35 Ω·m, 尾矿砂 40 Ω·m 左右, 炭质层和围岩 (灰岩、硅质岩、大理岩等) 电阻率约 100~1 000 Ω·m, 围岩与矿体存在明显的电性差异^[27]。电性结果显示, 沿剖面自西向东存在 3 个不连续的高导体 (C1、C2、C3) 和 2 个不连续高阻块体 (R1、R2), 高导和高

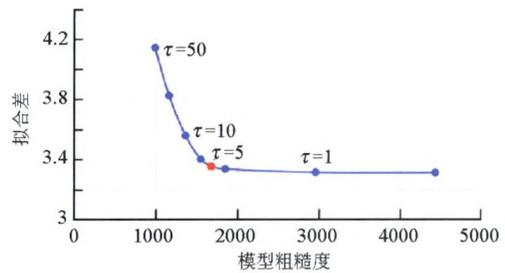


图 5 不同正则化因子反演得到的模型粗糙度与拟合差曲线

Fig.5 Model roughness and fitting difference curve of inversion by different regularization factors

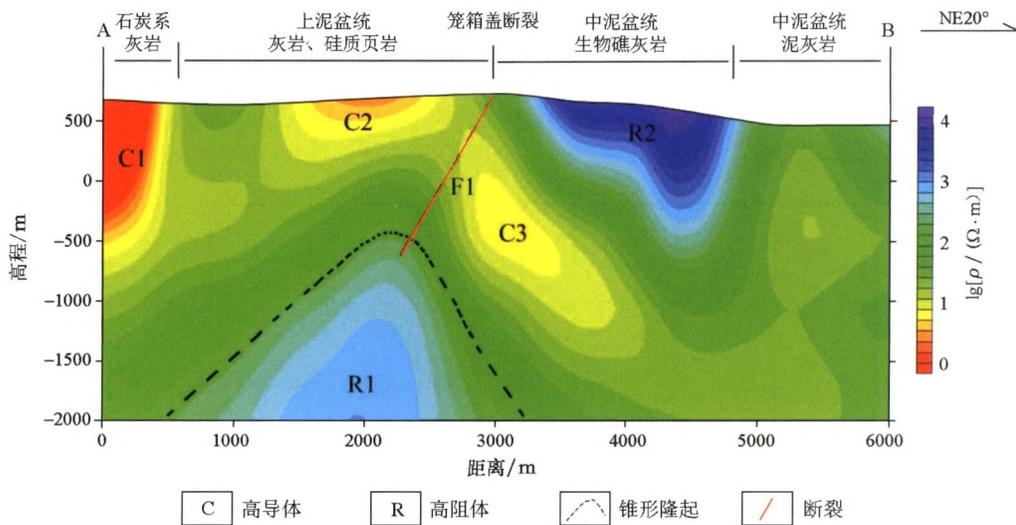


图 6 大厂矿区电阻率模型

Fig.6 Resistivity map of Dachang deposit

阻区域形态分明。高阻异常体 R1 呈锥形隆起 (图 6 中虚线所示部位), 其深部电阻率可能高达 2 000 Ω·m 以上, 与两侧围岩存在明显的电性差异。根据大厂矿田 1:20 万和 1:5 万重力研究发现, 笼箱盖岩体顶部沿丹池断裂、铜坑—灰乐横断裂、大厂断裂均呈脊状隆起^[17,19]; 此外, 根据大厂矿田岩石物性测试和钻探资料, 花岗岩呈高阻特征^[7], 由此推断高阻异常体 R1 可能为隐伏的笼箱盖花岗岩体, 其顶板埋深约 1 500 m。高阻体 R2 形态呈不规则块状, 埋深西浅东深, 电阻率值在 1 000 Ω·m 以上; 地层以中泥盆统生物礁灰岩为主, 推测高阻体 R2 主要是致密的生物礁灰岩。

大厂矿田隐伏矿体为多金属矿体, 呈低阻 (高导) 特征, 因此, 高导体是寻找隐伏矿床的重点区域。结合地质构造和岩石的物性特征, 对高导体的成因进行了讨论。高导体 C1 位于丹池背斜残留的石炭系灰岩地层, 因地层剥蚀严重, 灰岩裂隙和节理极为发育,

推断低阻体 C1 可能是破碎的石炭系灰岩风化带。高导体 C2 出露于上泥盆统灰岩和硅质页岩地层中, 紧邻笼箱盖断裂, 异常中心位于地表, 推断高导体 C2 可能是由于上泥盆统沉积层遭到破坏形成的局部破碎带。高导体 C3 埋深较大, 位于拉么 Zn-Cu 矿床和茶山 Sn-W 矿床之间, 与深部脊状隆起的花岗岩相互伴生, 推测其可能是深部隐伏矿床。

4 讨论

4.1 隐伏矿床的讨论

整个矿田内矿体同属于一个岩浆活动成矿系统, 各类矽卡岩型矿床围绕岩笼箱盖花岗岩体中心呈环状分布, 矽卡岩系统位于碳酸盐岩中, 横向和垂直都与花岗岩相接触^[28-29]。花岗岩体向外依次为锌铜矿床 (局部叠加有晚期的钨锡矿化)、锡多金属矿床、铅

锌银矿床和汞锑矿床,各环之间有着明显的叠加和渐变现象。据统计,一般矽卡岩型锌铜矿距离花岗岩体约 0~200 m,锌矿体约 200~600 m,锑钨矿约 500~2000 m,锡石硫化物型矿床约 600~2000 m,铅锌银矿约 800~3000 m^[30]。接触交代型锌铜矿床,位于大厂矿田笼箱盖隐伏岩浆房的顶部及其周边,这类矿床成矿作用主要集中在岩浆房高位突出的顶界面凹凸部位及其内外接触带范围。根据本文所获得的电阻率模型,高导体 C3 位于大厂矿田笼箱盖隐伏岩浆房的顶部,距离笼箱盖花岗岩体约 500 m,具有接触交代型锌铜矿床的构造特征(接触交代型锌铜矿床,位于大厂矿田笼箱盖隐伏岩浆房的顶部及其周边,这类矿床成矿作用主要集中在岩浆房高位突出的顶界面凹凸部位及其内外接触带范围)。此外,根据大厂矿田地表岩石地球化学 Sn、Zn、Sb、Cu 元素异常平面示意图,笼箱盖—茶山区地表 Sb、W、Zn、Cu 矿化强烈,反映了深部可能存在隐伏 Zn-Cu 和 Sb-W 矿床^[7];大厂矿田 ΔT 高精度磁测化极上延 500 m 垂向导异常图显示,异常总体围绕隐伏花岗岩体呈环状分布,反映矿液活动可能来源于隐伏花岗岩体或受到岩浆的驱动^[18]。基于以上研究,推测隐伏矿体 C3 可能为矽卡岩型锌铜矿床,后期叠加锑钨矿床。

4.2 成矿物质——流体来源和高阻隐伏岩浆侵入体

老地层富含的成矿物质和晚古生代地层中的成矿物质,与大气水、地层水、封存水等携带的成矿物质在相对稳定的地段储存起来,成为高浓度的成矿流体^[31]。在推断的泥盆系地层下方存在着一个显著的高阻体 R2(图 6),被中高阻的区域包围,位于 NW 向笼箱盖断裂带的中间位置,属于笼箱盖花岗岩体在南侧延伸的支脉。矿田内产出的岩浆岩属燕山晚期中酸性侵入体,岩性以黑云母花岗岩为主。根据电阻率模型,岩浆岩隆起埋深约 1.5 km,以陡直岩墙沿 NW 向断裂延伸。花岗岩体作为成矿物质的主要来源,为矿体的形成提供主要的成矿物质和热动力,成矿热液由岩体向外流动并在有利的构造部位交代充填成矿。

4.3 控矿因素

根据大厂矿田钻孔中岩心样品分析结果认为,大厂锡多金属矿的形成受地层、构造和岩浆岩的共同作用。大厂矿田矿化几乎无一例外地集中在泥盆系的不同层位中,主要控矿层位是中泥盆统到上泥盆统早期地层^[32]。中带矽卡岩型矿床赋存在中、上泥盆统泥灰岩及扁豆状、条带状灰岩地层,石英脉型矿床(Sb、W 矿床)的赋矿地层为中、上泥盆统泥灰岩、页岩、硅质岩、扁豆状和条带状灰岩地层。另外,矿区泥

盆系地层存在诸如灰岩与泥岩、页岩、泥页岩等互层现象,灰岩在构造作用下易于破碎,形成一些有利于矿液充填的容矿空间,泥岩、页岩及泥页岩等低渗透性岩石则扮演了盖层的角色,使得泥盆系地层具备良好的储盖组合^[33]。

区域性的大构造控制了成矿带、矿田、矿床的形成与分布,而矿区范围内的小构造则控制了矿体的形态、产状。NW 向的深大断裂在区域地质挤压、拉张作用下,往往成为混合成矿流体运移的通道;而 NE、SN 和 EW3 组次级断裂构造控制了矿体的形态和结构。背斜轴部易产生轴向断裂构造和虚脱空间,是矿液充填的有利场所。大厂矿田的容矿构造主要为层间滑脱破碎带、细(网)脉状裂隙构造、NE 向大脉状裂隙构造及岩浆侵入接触带构造,层间滑脱破碎带是大厂矿田最主要的控矿构造类型。流体包裹体特征和 He、Ar、S 同位素组成共同表明,铜坑—长坡矿床脉状及层状矿体具有相同的成矿物质来源和相同的成因,成矿作用与燕山期构造、岩浆热事件有关^[34]。

4.4 成矿机制

根据南丹地区 1:20 万区域重力及航磁资料,结合广西地区 1:100 万区域重力、地震测深资料综合推断,NW 向断层可能达到下部地壳,甚至上地幔^[16,19,22]。电性结果表明紫云—垭都断裂带中、下地壳及上地幔高导体主要是岩石圈物质局部熔融,幔源岩浆底侵地壳产生的热量使上覆成熟地壳发生部分熔融^[35]。上地幔物质的局部熔融产生大量的热使上覆地壳发生部分熔融,断裂构造为中、下地壳(及少量上地幔物质)的岩浆热液和深部地幔热源向上运移提供了通道^[35-36]。基于³He/⁴He 比值高和富 CO₂ 流体的存在,认为在铜坑—长坡矿床成矿过程中有少量深部地幔流体的参与,另外,高的 R/Ra 比表明了矿液中存在地幔物质的贡献^[21]。根据对稀土元素含量和 S、Pb 等元素的同位素分析,也得出了类似的结论^[37-41]。

根据成矿模式的综合描述,得到研究区电性约束下的大厂锡多金属矿理想化成矿模式图(图 7)。晚白垩世时期,华南西部地区软流圈上涌并诱发岩石圈地幔部分熔融,幔源岩浆底侵地壳产生足够的热使上覆成熟地壳发生部分熔融。燕山运动期间本区深部的岩浆活动强烈,中、下地壳(及少量上地幔物质)的岩浆热液和深部地幔岩浆沿上涌到浅层泥盆系地层。岩浆作用推动原有的成矿流体和岩浆流体带来的成矿物质在 SN 向断裂和 NE 向构造带等构造附近的减压地带成矿,形成部分层状矿体和大部分的脉状矿

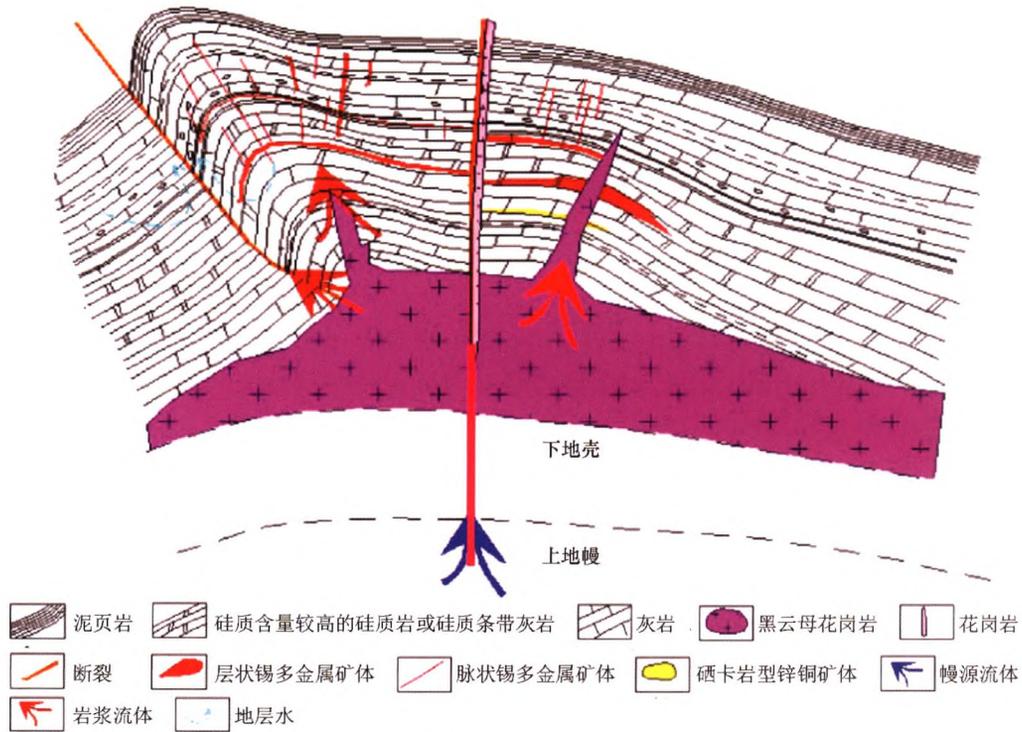


图 7 大厂矿田成矿模式(据广西二一五地质队资料修编)

Fig.7 Metallogenic model diagram of Dachang deposit(modified by data of the 215 geological team, Guangxi province)

体,同时有中性—酸性岩浆侵入^[7]。泥盆纪至白垩纪形成了一个完整的成矿时空格架:泥盆纪时期,区域性控矿断裂形成;印支—燕山期,强烈的挤压褶皱作用和拉张形成层间裂隙和次级断裂等容矿构造;晚白垩世时期,中酸性岩浆侵入(深、浅源流体混合),后经成矿流体分异,在中上泥盆统地层富集成矿。

5 结论

1) 根据先前重力和大地电磁测深的结果, NW 向断裂构造为切穿莫霍面的深大断裂, 断裂构造为中、下地壳(及少量上地幔物质)的岩浆热液和深部地幔热源向上运移提供了通道。

2) 利用大厂矿田 AMT 剖面反演结果初步圈定了隐伏花岗岩和隐伏矿体的位置;花岗岩成脊状隆起,推测矿体发育自底部花岗岩体,表明花岗岩具有明显的控矿作用。推测晚白垩世时期,深部成矿流体和岩浆热液沿断裂上涌到浅层泥盆系地层中,经结晶分异作用形成笼箱盖花岗岩体和隐伏矿体。

致谢:在野外数据采集与资料收集中,得到了广西大厂矿田苏亚汝总工的大力支持,在此表示感谢。

参考文献 (References) :

[1] 朱裕生,梅燕雄,吕志诚,等.隐(盲)矿床的预测找矿和深部勘探[J].中国地质,2007,34(1): 43-48.
Zhu Y S, Mei Y X, Lyu Z C, et al. Predictive prospecting and deep exploration of hidden (blind) deposits[J].Geology of China,2007, 34(1):43-48.

[2] 滕吉文,杨立强,姚敬金,等.金属矿产资源的深部找矿、勘探与成矿的深层动力过程[J].地球物理学进展,2007,22(2):317-334.<http://doi.org/10.3969/j.issn.1004-2903.2007.02.001>.
Teng J W, Yang L Q, Yao J J, et al. Deep discover ore, exploration and exploitation for metal mineral resources and its deep dynamical process of formation[J].Progress in Geophysics,2007, 22(2):317-334.<http://doi.org/10.3969/j.issn.1004-2903.2007.02.001>.

[3] 吕庆田,史大年,汤井田,等.长江中下游成矿带及典型矿集区深部结构探 Sino-Probe-03 年度进展综述[J].地球学报,2011, 32(3):257-268.<http://doi.org/10.3975/cagsb.2011.03.01>.
Lyu Q T, Shi D N, Tang J T, et al. Probing on deep structure of middle and lower reaches of the Yangtze metallogenic belt and typical ore concentration area: a review of annual progress of Sino-Probe-03 [J].Acta Geoscientica Sinica,2011, 32(3): 257-268.<http://doi.org/10.3975/cagsb.2011.03.01>.

[4] 陈毓川,黄民智,徐珏,等.大厂锡石—硫化物多金属矿带地质特征及成矿系列[J].地质学报,1985, 59(3):228-240.
Chen Y C, Huang M Z, Xu J, et al. Geological characteristics of the Dachang cassiterite sulphide deposits and metallogenic series [J]. Acta Geologica Sinica,1985, 59(3):228-240.

- [5] 陈毓川,李光岑,黄民智,等.大厂锡矿地质[M].北京:地质出版社,1993.
Chen Y C, Li G C, Huang M Z, et al. Tin Deposits of Dachang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [6] 韩发,赵汝松,沈建忠,等.大厂锡多金属矿床地质及成因[M].北京:地质出版社,1997.
Han F, Zhao R S, Shen J Z, et al. Geology and origin of ores in the Dachang tin-polymetallic ore field [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [7] 范森葵.广西大厂锡多金属矿田地质特征、矿床模式与成矿预测[D].长沙:中南大学,2011.
Fan S K. The geological characteristics, genesis and metallogenic prediction of Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [8] 李春平,吴德成,蔡明海.大厂矿田长坡矿床深部区叠瓦状构造控矿特征及找矿前景分析[J].矿产与地质,2006,20(6):623-627. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5663.2006.06.009>.
Li C P, Wu D C, Cai M H. Control of mineralization of imbricate structure and prospecting perspective in deep part in the Changpo deposit of Dachang ore field [J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(6): 623-627. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5663.2006.06.009>.
- [9] 唐龙飞,谭泽模,黄敦杰,等.大厂矿田硫同位素特征及找矿预测[J].有色金属(矿山部分),2014,66(6):30-35. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-4172.2014.06.008>.
Tang L F, Tan Z M, Huang D J, et al. Sulfur isotope characteristics and prospecting prediction of Dachang tin-polymetallic ore field [J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2014, 66(6): 30-35. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-4172.2014.06.008>.
- [10] Farquharson C G, Craven J A. Three-dimensional inversion of magnetotelluric data for mineral exploration: An example from the McArthur River uranium deposit, Saskatchewan, Canada [J]. Journal of Applied Geophysics, 2009, 68: 450-458. <http://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.02.002>.
- [11] 邓居智,陈辉,殷长春,等.九瑞矿集区三维电性结构研究及找矿意义[J].地球物理学报,2015,58(12):4465-4477. <http://doi.org/CNKI:SUN:DQWX.0.2015-12-012>.
Deng J Z, Chen H, Yin C C, et al. Three-dimensional electrical structures and significance for mineral exploration in the Jiujiang-Ruichang District [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(12): 4465-4477. <http://doi.org/CNKI:SUN:DQWX.0.2015-12-012>.
- [12] 徐新煌,蔡建明,陈洪德,等.广西丹池矿带锡多金属矿床地质地球化学特征及成矿作用[J].成都地质学院学报,1991,18(4):12-25.
Xu X H, Cai J M, Chen H D, et al. Geological and geochemical characteristics and mineralization of the tin-polymetallic deposit in the Danchi ore belt, Guangxi [J]. Journal of Chengdu Geology, 1991, 18(4): 12-25.
- [13] 陈洪德,曾允浮,李孝全.丹池晚古生代盆地的沉积和构造演化[J].沉积学报,1989,7(4):85-96. <http://doi.org/CNKI:SUN:CJXB.0.1989-04-006>.
Chen H D, Zeng Y F, Li X Q. Sedimentary and tectonic evolution of the late Paleozoic danchi basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1989, 7(4): 85-96. <http://doi.org/CNKI:SUN:CJXB.0.1989-04-006>.
- [14] 韩发, Hutchinson R W. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积成因的证据——含矿建造及热液沉积岩[J].矿床地质,1989,8(3):25-37. <http://doi.org/CNKI:SUN:KCDZ.0.1989-02-003>.
Han F, Hutchinson R W. Evidence for exhalative origin for rocks and ores of the Dachang tin polymetallic field: the ore-bearing formation and hydrothermal exhalative sedimentary rocks [J]. Mineral Deposits Beijing, 1989, 8(3): 25-37. <http://doi.org/CNKI:SUN:KCDZ.0.1989-02-003>.
- [15] 高志斌.广西丹池地区锡多金属成矿带控矿因素及成矿预测[J].地质与勘探,1988(8):18-24. <http://doi.org/CNKI:SUN:DZKT.0.1988-08-002>.
Gao Z B. Ore-controlling factors and metallogenic prediction of tin polymetallic metallogenic belt in Danchi, Guangxi [J]. Geology and Prospecting, 1988(8): 18-24. <http://doi.org/CNKI:SUN:DZKT.0.1988-08-002>.
- [16] 蔡明海,梁婷,吴德成,等.广西丹池成矿带构造特征及其控矿作用[J].地质与勘探,2004,40(6):5-10. <http://doi.org/10.3969/j.issn.0495-5331.2004.06.002>.
Cai M H, Liang T, Wu D C, et al. Structural characteristics and ore-controlling effect of the Danchi metallogenic belt, in Guangxi Province [J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(6): 5-10. <http://doi.org/10.3969/j.issn.0495-5331.2004.06.002>.
- [17] 张小路,王钟.广西大厂隐伏岩体重力反演及其地质意义[J].桂林冶金地质学院学报,1990,10(4):417-425. <http://doi.org/CNKI:SUN:GLGX.0.1990-04-011>.
Zhang X L, Wang Z. The gravity inversion and its geological significance for the hidden granite body in Dachang, Guangxi [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 1990, 10(4): 417-425. <http://doi.org/CNKI:SUN:GLGX.0.1990-04-011>.
- [18] 张小路,王钟.大厂矿田地面磁测资料综合处理研究报告[R].桂林:桂林工学院,2006.
Zhang X L, Wang Z. Research report on comprehensive processing of surface magnetic survey data in Dachang ore field [R]. Guilin: Guilin Institute of Technology, 2006.
- [19] 孙德梅,刘心铸,彭聪,等.应用重磁资料研究广西芒场——大厂成矿带的地质构造及隐伏岩体预测[D].北京:中国地质科学院矿床地质研究所,1994.
Sun D M, Liu X Z, Peng C, et al. Application of gravity and magnetic data to study the geological structure and hidden rock mass prediction of the Mangchang-Dachang metallogenic belt in Guangxi [D]. Beijing: Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, 1994.
- [20] 蔡明海,何龙清,刘国庆,等.广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义[J].地质论评,2006,52(3):409-414. <http://doi.org/CNKI:SUN:YSXB.0.2011-06-005>.
Cai M H, He L Q, Liu G Q, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusive rocks in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi and their geological significance [J]. Geological Review, 2006, 52(3): 409-414. <http://doi.org/CNKI:SUN:YSXB.0.2011-06-005>.
- [21] Cai M H, Mao J W, Liang T, et al. The origin of the tongkeng-changpo tin deposit, Dachang metal district, Guangxi, China: clues from

- fluid inclusions and He isotope systematics [J]. *Miner Deposit*, 2007, 42: 613 - 626. <http://doi.org/10.1007/s00126-007-0127-5>.
- [22] 黄启勋. 南盘江—右江成矿带广西区域深部找矿潜力分析[J]. *南方国土资源*, 2015(9): 30 - 32. <http://doi.org/CNKI;SUN;GXDZ.0.2015-09-011>.
- Huang Q X. Analysis of deep prospecting potential in Guangxi region of Nanpanjiang-Youjiang metallogenic belt [J]. *Southern Land Resources*, 2015(9): 30 - 32. <http://doi.org/CNKI;SUN;GXDZ.0.2015-09-011>.
- [23] Groom R W, Bailey R C. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94(B2): 1913 - 1925. <http://doi.org/10.1029/JB094iB02p01913>.
- [24] 蔡军涛, 陈小斌. 大地电磁资料精细处理和二维反演解释技术研究(二)——反演数据极化模式选择[J]. *地球物理学报*, 2010, 53(11): 2703 - 2714. <http://doi.org/CNKI;SUN;DQWX.0.2010-11-021>.
- Cai J T, Chen X B. Refined techniques for data processing and two-dimensional inversion in magnetotelluric II: Which data polarization mode should be used in 2D inversion [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2010, 53(11): 2703 - 2714. <http://doi.org/CNKI;SUN;DQWX.0.2010-11-021>.
- [25] Rodi W, Mackie R L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2D magnetotelluric inversion [J]. *Geophysics*, 2001, 66(1): 174 - 187. <http://doi.org/10.1190/1.1444893>.
- [26] Hansen P C. Analysis of discrete ill-posed problems by means of the L-curve [J]. *SIAM Review*, 1992, 34(4): 561 - 580. <http://doi.org/10.2307/2132628>.
- [27] 王钟, 张小路, 罗润林, 等. 大厂锡多金属矿区深边部找矿中的 TEM 异常特征[J]. *桂林工学院学报*, 2009, 29(3): 303 - 309. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9057.2009.03.005>.
- Wang Z, Zhang X L, Luo R L, et al. Abnormal characteristic of TEM response for prospecting depth and margin area of Tin-polymetallic deposit in Dachang [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2009, 29(3): 303 - 309. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9057.2009.03.005>.
- [28] Fu M, Changkakoti A, Krouse H R, et al. An oxygen, hydrogen, sulfur, and carbon isotope study of carbonate-replacement skarn tin deposits of the Dachang tin field, China [J]. *European Geological*, 1991, 86: 1683 - 1703. <http://doi.org/10.2113/gsecongeo.86.8.1683>.
- [29] Fu M, Kwak T A P, Mernagh T P, et al. Fluid inclusion studies of zoning in the Dachang tin-polymetallic ore field, People's Republic of China [J]. *European Geological*, 1993, 88, 283 - 300. <http://doi.org/10.2113/gsecongeo.88.2.283>.
- [30] 范森葵, 伍永田, 王明艳. 广西大厂矿田矿床分布规律与找矿方向[J]. *矿产与地质*, 2008, 22(6): 520 - 524. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5663.2008.06.009>.
- Fan S K, Wu Y T, Wang M Y. Distributing rules of deposits and prospecting direction in Dachang mining area, Guangxi [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2008, 22(6): 520 - 524. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5663.2008.06.009>.
- [31] 邹锡青, 王思源. 广西芒场锡多金属矿田稳定同位素组成对矿床成因探讨[J]. *广西地质*, 1993, 6(2): 63 - 69.
- Zou X Q, Wang S Y. Discussion on the stable isotopic composition and genesis of Mengchang Tin-polymetallic ore deposit in Guangxi [J]. *Geology of Guangxi*, 1993, 6(2): 63 - 69.
- [32] 秦德先, 陈健文, 田毓龙. 广西大厂长坡锡矿床地质及成因[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1998, 7(3): 146 - 151. <http://doi.org/CNKI;SUN;YSJS.0.1998-03-003>.
- Qin D X, Chen J W, Tian Y L. Geology and genesis of changpo tin deposit, Dachang, Guangxi [J]. *Nonferrous Mineral Exploration*, 1998, 7(3): 146 - 151. <http://doi.org/CNKI;SUN;YSJS.0.1998-03-003>.
- [33] 成永生, 黄惠明. 广西大厂矿田泥盆系地层地球化学及其成矿指示[J]. *中国有色金属学报*, 2013, 23(9): 2649 - 2658. <http://doi.org/CNKI;SUN;ZYXZ.0.2013-09-037>.
- Cheng Y S, Huang H M. Geochemical characteristics and mineralization indication of Devonian strata in Dachang ore field, Guangxi [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2013, 23(9): 2649 - 2658. <http://doi.org/CNKI;SUN;ZYXZ.0.2013-09-037>.
- [34] 蔡明海, 梁婷, 吴德成. 广西大厂锡多金属矿田充马矿床地质特征及成矿时代[J]. *地质学报*, 2005, 79(2): 262 - 268. <http://doi.org/10.3321/j.issn:0001-5717.2005.02.012>.
- Cai M H, Liang T, Wu D C. Geological characteristics and ore-forming time of the kangma deposit in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(2): 262 - 268. <http://doi.org/10.3321/j.issn:0001-5717.2005.02.012>.
- [35] 刘成功. 南盘江盆地壳幔电性结构研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- Liu C G. Studying on the electrical structure of the crust in the Nanpanjiang basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [36] Guo J, Zhang R Q, Sun W D, et al. Genesis of tin-dominant polymetallic deposits in the Dachang district, South China: Insights from cassiterite U-Pb ages and trace element compositions [J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 95: 863 - 879. <http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.03.023>.
- [37] 梁婷, 王登红, 屈文俊, 等. 广西铜坑锡多金属矿黄铁矿的 Re-Os 同位素组成及成矿物质来源示踪[J]. *地球科学与环境学报*, 2009, 31(3): 230 - 235. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6561.2009.03.002>.
- Liang T, Wang D H, Qu W J, et al. Re-Os isotope composition and source of ore-forming material of pyrite in Tongkeng Tin-polymetallic [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2009, 31(3): 230 - 235. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6561.2009.03.002>.
- [38] 梁婷, 王登红, 李华芹, 等. 广西大厂石榴石 REE 含量及 Sm-Nd 同位素定年[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2011, 41(4): 676 - 681. <http://doi.org/CNKI;SUN;XBDZ.0.2011-04-025>.
- Liang T, Wang D H, Li H Q, et al. REE geochemistry and Sm-Nd isotope age of garnet from the Dachang, Guangxi [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2011, 41(4): 676 - 681. <http://doi.org/CNKI;SUN;XBDZ.0.2011-04-025>.
- [39] Jiang S Y, Han F, Shen J Z, et al. Chemical and Rb-Sr, Sm-Nd isotopic systematics of tourmaline from the Dachang Sn-polymetallic ore deposit, Guangxi Province, P.R. China [J]. *Chemical Geology*, 1999,

157(1-2): 49-67. [http://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00200-9](http://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00200-9).

- [40] Wang D H, Chen Y C, Chen W, et al. Dating of the Dachang super-large tin-polymetallic deposit in Guangxi and its implication for the genesis of the No.100 orebody[J]. *Acta Geological Sinica*, 2004, 78(2): 452-458. <http://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2004>.

tb00153.x.

- [41] Cheng Y S, Hu R Z. Lead isotope composition and constraints on origin of Dafulou ore deposit, Guangxi, China[J]. *Transactions of Non-ferrous Metals Society of China*, 2013, 23(6): 1766-1773. [http://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62659-X](http://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62659-X).

A study of deep metallogenic prediction and metallogenic mechanism of the Dachang deposit in Guangxi

LIU Cheng-Gong^{1,2}, JING Jian-En^{1,3}, JIN Sheng^{1,3}, WEI Wen-Bo^{1,3}

(1. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China National Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang 065000, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: As one of the large tin-polymetallic deposits in the world, the Dachang deposit has complicated metallogenic mechanism and rich hidden mineral resources. In order to detect the distribution and study mineralization mechanism of the concealed deposits around the cage and cover rock in the Dachang ore district, the authors finely processed the audio magnetoelectromagnetic data covering the Dachang ore district, and obtained a two-dimensional electrical structure model within the depth of 3 km. According to the results of resistivity model, the location of concealed granite and orebody was determined. Granite is characterized by high resistance and is buried at a depth of about 1.5 km, with the formation of ridge uplift along the fault structure. The low-resistivity orebody is located in the middle Devonian strata at the top of granite, so it is inferred that the orebody was developed from the granite at the bottom, which indicates that granite has an obvious ore-controlling effect. According to the zonal characteristics of copper in the near place and tin in the distant place as well as anomalies of metallic elements in the Dachang ore district, it is most possible to find skarn type Zn-Cu deposits and Sb-W deposits. The research shows that, in the late Cretaceous period, the magmatic hydrothermal fluids of the middle and lower crust together with a small amount of upper mantle rose to the shallow Devonian strata of the crust along the basement fault in the NW direction, and then formed mineralization with surrounding rocks through crystallization differentiation.

Key words: Dachang deposit; audio magnetotelluric sounding; resistivity; metallogenic prediction; ore-forming mechanism

(本文编辑:沈效群)