



许德如 肖 勇 夏 斌 蔡仁杰 等著
侯 威 王 力 刘朝露 赵 斌

HAINAN SHILU TIEKUANGCHUANG CHENGKUANGMOSHI YU ZHAOKUANGYUCE

海南石碌铁矿床成矿模式 与找矿预测



地质出版社

海南石碌铁矿床成矿模式 与找矿预测

许德如 肖 勇 夏 斌 蔡仁杰 等著
侯 威 王 力 刘朝露 赵 斌

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

海南省石碌铁矿曾誉为“亚洲最大富铁矿”。本书以活化构造(地洼)及其成矿学理论为指导,以先进的观察、测试和分析技术为手段,采用成矿构造学、矿床地球化学、矿物包裹体学、同位素地质年代学、遥感地质学、勘查地球物理学和找矿勘查学等多学科交叉研究方法,通过对石碌矿区的构造变形特征及与铁、钴、铜多金属富集成矿关系、成矿物质(成矿流体)的主要来源和驱动机制以及成矿作用时代等的重点研究,深入剖析了该矿床的成因类型和成矿作用规律,认为石碌铁矿系多因复成改造富化型(火山-沉积变质+构造改造+热液叠加)矿床,并首次建立了该矿床的成矿作用演化模式和找矿模型。在此基础上,提出了找矿方向,开展了石碌矿区深部矿产预测;通过工程验证,扩大了矿床远景资源储量,为指导区域找矿工作提供了重要科学依据。

本书资料翔实,内容丰富,基础扎实,论证严谨,见解新颖,成果可靠,既是成矿地质理论研究与矿产深部勘查相结合的成功范例,也是迄今开展石碌铁矿及外围研究最具创新性的成果,对推动我国特色铁矿床成矿系统理论的突破将具有重要指导意义。本书对产、学、研部门的广大地质矿产工作者和高等院校师生均有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测/

许德如等著. —北京:地质出版社,2009. 10

ISBN 978-7-116-06192-7

I. 海… II. 许… III. ①铁矿床:多金属矿床—成矿规律—海南省②铁矿床:多金属矿床—成矿预测—海南省
IV. P618. 31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 115840 号

责任编辑:赵俊磊 蔡卫东

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324571(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:21.75 插页:3 页

字 数:500 千字

印 数:1—800 册

版 次:2009 年 10 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:90.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-06192-7

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序

随着我国经济快速发展对矿产资源需求的不断扩大,加强矿床地质研究,提高地质找矿能力,寻找出更多更好的矿产资源,缓解资源瓶颈制约,越来越成为广大地质工作者的迫切任务。同时,地球系统科学的兴起及各分支学科的进展、海量矿床信息的积累和地球探测技术的革新,都为找矿突破和矿床学的发展提供了契机。《海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测》就是一部具有现代成矿地质研究特色的专著。

海南岛地处中国环太平洋构造成矿带最南端的华南成矿域南部,具有良好的成矿地质条件。其矿产资源的显著特征是“一铁”(昌江石碌式铁矿)、“二金”(戈枕式金矿及乐东抱伦式金矿),均以其高品位而闻名全国。石碌铁矿是我国已知最大富铁矿床,已有 50 多年的勘查开发与研究历史,在新形势下如何加强与深化石碌铁矿成矿规律研究,提高隐伏矿体预测的科学性,已成为实现矿山地质找矿突破的关键。

在全国危机矿山接替资源找矿项目“海南省昌江县石碌铁矿接替资源勘查”、国家自然科学基金“海南岛昌江-琼海断裂带变基性岩成因及构造意义”、中国科学院重要方向性项目“南海及邻区大地构造系统的组成、结构及演化”等联合资助下,中国科学院广州地球化学研究所和海南省地质勘查局等单位,合作开展了“海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测”科研找矿项目。项目以活化构造(地洼)及其成矿学理论为指导,运用成矿构造学、矿床地球化学、矿物包裹体学、同位素地质年代学、遥感地质学、勘查地球物理学和找矿勘查学等多学科方法,重点研究了区域成矿地质背景、矿区构造变形特征及与铁钴铜富集成矿关系、成矿物质和成矿流体的来源以及成矿作用的复杂性和多期性,完成了大量野外和室内工作,获取了丰富翔实的数据资料。通过系统研究,较全面地认识了石碌铁矿的矿床地质特征及主要控矿因素,深入探讨了构造成矿作用过程与动力学机制,深化了对矿床成因和成矿规律的认识,建立了石碌铁矿床的成矿作用演化模式和找矿模型,提出该矿床为多因复成改造富化型(火山-沉积变质+构造改造+热液叠加)矿床,为圈定找矿靶区、扩大矿床远景及指导区域找矿工作提供了科学依据,并与矿山密切合作,实行工程验证,发现了深部矿体,实现了石碌矿区深部找矿的突破,堪称地质成矿理论与隐伏矿体预测相结合的范例。

本书是在“海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测”项目成果的基础上,经进一步加工深化而成。专著内容丰富、基础扎实、论证严谨、见解新颖、结论可信,是一项多学科融合、理论与实际紧密结合、颇具创新性的研究成果。其特色是运用活化构造及其成矿学的理论体系与研究方法,深入剖析石碌铁矿的成矿地质条件与构造成矿过程,着眼于在区域地质构造背景下研究矿床的形成过程,将微观与宏观相结合,物质与运动相结合,并进行了富有成效的深部成矿预测。

近年来我国的矿床研究蓬勃发展,各类研究项目日益增多,研究成果大量涌现,对于找

矿工作起到重要促进作用。但也存在一些问题:一是对区域成矿的综合研究比较多,而对典型矿床个体的深入研究相对不足;二是比较注重矿床地球化学及物质成分研究(这是必需的),但是对矿田构造和构造控矿研究有所忽视,影响到对矿床地质的全面理解。可喜的是,一些专家学者已重视对矿床学的全面研究,《海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测》就是一部深入剖析典型矿床,并将矿田构造研究与地球化学研究很好结合的专著,为我们提供了多学科全面研究矿床的有益经验。

期望本书的出版将能进一步推动我国金属矿床地质研究与深部找矿工作的进展。我谨此对《海南石碌铁矿床成矿模式与找矿预测》专著的问世和著者所取得的丰硕成果致以衷心的祝贺。

孙裕生
2009.8.26

前 言

随着我国钢铁工业的迅猛发展,国产铁矿石、尤其是富铁矿石已远不能满足需求,50%以上的铁矿石依赖国外进口;另一方面,国内众多铁矿山因后备资源不足正面临着巨大危机。铁矿已经成为制约我国社会经济可持续发展的瓶颈之一,并威胁到国家的资源安全和经济安全。虽然,国家曾投入大量人力、物力和财力进行找矿专项研究,在成矿地质理论及找矿勘查等都有所突破,但随着勘探程度的不断提高,特别是找矿工作由地表逐渐转向深、边部和近外围,目前作为指导铁矿找矿工作的成矿理论也越来越不能满足要求,这就需要不断通过成矿理论、找矿理论和技术方法的创新,建立具有中国地域特色的铁矿成矿理论和成矿模式,以实现我国铁矿、尤其是大型铁矿和富铁矿的找矿突破,是缓解国家铁矿资源危机、保障国民经济可持续健康发展的必由之路。

经国内数代地质学家、矿床学家和找矿勘查专家等不懈的努力和深入的研究,目前已对我国主要铁矿床类型如沉积型、沉积变质型(BIF型)、矽卡岩型、(陆相和海相)火山岩型和岩浆型等的成矿地质背景和成矿地质条件、矿床地质特征和矿床成因、成矿规律和找矿方向等有了较深入认识和较系统掌握(陈毓川,2008)。然而,我国还有一类铁矿床如位于海南省的石碌铁矿和位于内蒙古世界著名的特大型铁-稀土-铌矿床等(涂光炽,1980;华南富铁科研队,1986;中国科学院广州地球化学研究所,1988;Chao et al.,1992;Yuan et al.,1992;曹荣龙等,1994;白鸽等,1996;范宏瑞等,2002;许德如等,2007a、2008;侯威等,2007;等等),一方面由于这类矿床以成矿元素的超常规聚集、储量大、共生有用组分多和矿石品位高而具巨大经济价值,另一方又因它们均有着特殊的矿床地质特征、独特的成矿地质条件和复杂的矿床成因,再加之在目前所掌握的成矿规律深度和勘探技术条件下在我国境内还未能发现第二个同类型的矿床(涂光炽,1998),因而无论将它们归入我国任何一种主要铁矿床类型,都难于合理解释其成因和成矿物质的富集机理。因此,这类矿床可认为是有特殊成因的铁矿床类型(如裴荣富等,1999)。多因复成矿床类型的提出(陈国达,1956、1996)有可能为解决此类矿床的成因问题提供重要思路。

位于海南省昌江县境内的石碌铁矿是以铁矿(主要是赤铁矿、少为磁铁矿)为主,共生或伴生有钴、铜、镍、铅锌、银(金)等多金属和白云岩、重晶石、石膏、硫等非金属矿产的大型矿床,曾被誉为“亚洲最大富铁矿”。自20世纪50年代开展找矿勘查以来,已在该矿区发现大大小小的铁矿体38个、钴矿体17个、铜矿体41个,所探明的铁矿石储量达4.17亿t以上(最高品位达69%以上、平均品位51.15%)、钴矿石储量约4.07Mt(最高品位达1.1%以上、平均品位0.294%)、铜矿石储量约6.65Mt(最高品位达18%以上、平均品位1.18%);Ni,Ag,PbZn等储量也很可观。另外,在矿区近外围区域还发现有铁、铜、铅锌、钨、锡、金等金属和石灰岩、粘土、石英砂、锆钛砂等非金属矿床(点)多处。可见,石碌铁矿不仅具有很

高的经济价值,而且显示极好的找矿前景和极高的成矿学研究价值,因而是国内地质学家、矿床学家和找矿勘查专家长期关注的重点矿床类型。

然而,由于对石碌铁矿形成和演化的地质构造背景、构造系统的组成和演变及与铁、钴、铜等多金属富集成矿的关系、成矿物质与成矿流体的来源和性质、以及主要成矿作用时代等未作深入系统研究,或某些认识上仍存较大分歧(冷盛强等,1979;刘成湛等,1979;冯建良,1980;刘裕庆,1981;王寒竹,1985;华南富铁科研队,1986;侯威,1987;许德如等,2007a、2008;侯威等,2007),因而,时至今日,仍无法合理解释铁钴铜等多金属富集成矿、特别是富集成厚大富赤铁矿的过程和机理,不仅致使该矿床的成因类型始终得不到解决,有关成矿物质富集规律也得不到正确的揭示;再加之自20世纪80年代初以来该矿床地质找矿科研工作已基本停滞,新的(成矿)地质理论和技术方法未能及时运用,因而依据以往对石碌铁矿成矿地质条件的掌握而建立的成矿模式已不能满足在矿区深、边部及近外围开展新一轮找矿工作部署的需要,也是近30年来该矿床的找矿工作未取得突破的重要原因;同时,对在海南全省和/或全国范围内具类似成矿地质条件的地区开展铁矿产资源的找矿预测还将产生重要的制约。

自2004年以来,我们在全中国危机矿山接替资源找矿项目“海南省昌江县石碌铁矿接替资源勘查”(任务书编号:[2006]122号;项目编码:200646092)、国家自然科学基金委员会面上基金“海南岛昌江-琼海断裂带变基性岩成因及构造意义”(40473017、40773017)、中国科学院重要方向性项目“南海及邻区大地构造系统的组成、结构及演化”(KZCXZ-SW-117),以及中国科学院边缘海地质重点实验室开放基金“海南岛石碌铁矿及其围岩主要矿物中包裹体研究”(MSGL04-2)等联合支持下,以活化构造(地洼)及其成矿学理论为指导(陈国达,1956、1959、1996),运用“石碌矿区找北一、石碌外围找石碌”的找矿工作思路,重点研究了:①石碌铁矿床成矿地质构造背景;②石碌矿区构造变形特征及其与铁、钴、铜等多金属富集成矿的关系;③石碌铁矿床成矿物质和(成矿流体)的来源,以及成矿作用时代;④石碌铁矿床的成因类型、成矿作用规律和成矿模式。目的是:①查明石碌矿区北一铁矿体东段的深部是否存在“北一式”厚大铁矿体,并确定其构造赋存部位;②查明铁、钴、铜矿体赋矿空间规律,并指出找矿前景;③为开展石碌矿区深、边部及近外围矿产资源的找矿预测提供科学依据。

为此,我们主要开展了以下几方面工作:

1)系统收集了20世纪50年代以来石碌矿区及邻区各种地质、物化探和勘查等报告10份;各种地质、物化探和钻孔等综合图件30份。目的是拟掌握矿区以往地质科研和勘查工作程度,以明确拟解决的关键科学问题。

2)石碌矿区近外围地质踏勘和剖面实测。进行了矿区西面石碌岭-金牛岭、矿区北面邦溪-(荣邦)、矿区东面石碌水库-鸡心村三条路线地质踏勘和剖面实测。目的是了解区域地层、侵入岩、构造和矿产的发育情况,以正确分析它们与区域构造发展关系。

3)石碌矿区地质调查和典型构造-岩性/构造-地层剖面实测。以矿区北一铁矿体及下部钴铜矿体为重点,兼顾南六、正美和枫树下、枫树顶等矿体,实测典型构造-岩性/地层剖面,并对典型穿脉进行了系统编录和素描。目的是了解矿体赋存的构造和围岩、矿体和赋矿围岩的构造变形、矿体的形态和产状,以及矿区热液活动和矿化情况。

4)钻孔岩心编录。对执行全国危机矿山接替资源找矿项目期间所完成的钻孔进行了

系统编录和描述,并建立了矿区地层综合柱状图。目的是了解矿体产状和空间(深部)展布、主要赋矿围岩、矿化和热液活动期次及与构造和(隐伏)侵入岩关系。

5)初步开展了矿区及邻区近 660km²范围的遥感地质解释。目的是了解矿区及邻区主要构造类型、主要构造线方向、不同类型构造的组合关系、矿床/矿体和侵入岩的产出与构造的关系,为开展找矿预测提供基础。

6)岩石组构分析。完成 24 块岩(矿)石定向标本 39 种矿石矿物和脉石矿物的 X 射线岩组测定和解释。目的是揭示构造岩显微组构特征,探讨岩石形成和变形的宏观构造应变规律、应力状态、运动方式和形成机制等构造信息。

7)岩(矿)石矿物组成、成分和结构分析:对矿区主要矿石和围岩及其中矿物进行了光学显微镜观察、显微激光拉曼光谱和电子探针分析。目的是了解矿石矿物和脉石矿物组成、成分和衍生次序,为矿化和热液活动期次划分、矿区成矿规律提供依据。

8)开展了主要赋矿围岩和矿石的主量和微量元素(包括稀土)分析、Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素分析。目的是判别原岩性质,并示踪成矿物质和(成矿流体)的来源。

9)矿物包裹体和同位素研究。进行了岩(矿)石及其中矿石矿物和透明矿物中包裹体类型划分、包裹体气液相成分分析和碳(C)、氧(O)、硫(S)同位素分析。目的是了解成矿物质(和成矿流体)来源,为深入揭示成矿作用规律提供依据。

10)同位素地质年代学测定。对赋矿围岩及其中主要矿物进行了 Sm-Nd 和 Ar-Ar 同位素定年,以及 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年。目的是探讨成矿作用的年代。

通过上述综合研究,取得了如下主要成果和认识:

1. 矿体赋存构造及产出特征

1)石碌铁矿实际上受一轴向呈 NW—SE 向、局部倒转的复式向斜严格控制,矿体主要赋存于该复式向斜的槽部或两翼向槽部过渡的部位。

2)整体上,尽管铁矿体和钴铜矿体呈层状、似层状产出,与围岩产状基本一致,但矿化主要沿一组近 EW 向和 NW—SE 向的 S-C 组构造发生,表现了同剪切构造成矿特征。

3)无论是铁矿体、还是其下部的钴铜矿体均呈“S”形和/或反“S”形透镜状,明显受一组近 EW 向和 NW—SE 向的 X 形共轭剪张节理所控制。

4)无论是垂向上、还是平面上,单个的透镜状铁矿体或钴铜矿体均显示分枝尖灭,但它们在深部的复合可构成厚大矿体,尤其是那些呈分枝的单个透镜状铁矿体在深部的复合可构成厚大的富铁矿体。

2. 矿区构造变形特征及与成矿作用的关系

1)结合海南岛大地构造演化特征,初步将石碌矿区构造变形划分为早期(即地槽发展时期)复式向斜形成阶段(D1)和晚期(即地洼发展时期)韧-脆性剪切变形阶段(D2),并探讨了不同构造变形阶段的动力学机制。

2)D1 构造变形期形迹主要表现为轴向 NW—SE 向的复式向斜和大型褶皱式窗棱构造,可能系晋宁—加里东期以来近 SN 向水平挤压结果;第二期构造变形(D2)又包含韧-脆性(D2a)、脆-韧性(D2b)和脆性(D2c)三个连续变形阶段,除导致 D1 期复式向斜的局部倒转外,主要表现为各种剪切构造如轴向 NE 的“S”形剪切褶皱或褶叠层构造、层内剪切褶皱、箭鞘褶皱、膝褶皱、无根钩状褶皱,以及顺层流劈理(片理)、S-C 组构、布丁状或石香肠状构造、旋转碎斑、伸展线理和矿物生长线理、断层劈理、X 形共轭剪张节理和大型伸展剪切断

层、高角度正断层等的发育。

3) D2 期构造变形反映了动力学条件具有从高温塑性流动到低温脆性变形的转变特征,与印支—燕山早期以来挤压-伸展型花岗岩的上隆和侵位所诱发的侧向扭压应力导致的剪切、伸展和高温塑性流动有关,其构造式样类似于变质核杂岩构造。

4) D1 期构造变形及伴随的区域变质作用造成了石碌铁矿的基础矿床(即火山-沉积变质型矿床)的形成;而 D2 构造变形期的韧-脆性阶段(D2a)和脆-韧性阶段(D2b)对铁钴铜多金属有进一步改造和富化作用,D2 变形期的脆性阶段(D2c)所产生的近 SN 向伸展断层则导致了早期矿体及其赋矿地层整体上自西向东滑移或落陷,并破坏复式向斜的连续性,因而在矿区东部(即北一铁矿体东部)矿体埋藏位置相对较深。

3. 矿床成因类型和矿化类型

1) 熔融包裹体和熔融-流体包裹体的发现。对石碌矿区富铁体、具石榴子石变形条带的贫矿体和近矿围岩(二透岩,即透辉石透闪石岩)中的矿物包裹体进行了岩相学、矿物学和测温学研究。结果表明,矿石矿物和透明矿物中的包裹体计有流体-熔融包裹体、熔融包裹体、流体包裹体、熔融-流体包裹体 4 种类型,且以前两者为多。

2) 二透岩的原岩恢复和构造环境。从元素地球化学和同位素地球化学角度,并结合野外地质产状、矿物组成和结构构造的观察、阴极发光(CL)制约下的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年以及矿物包裹体特征,首次认为矿区主要赋矿围岩即石碌群第六层二透岩具特殊的成因,是高位岩浆房中的一套中酸性火山熔岩同熔和/或混染石碌群第六层不纯灰岩或镁钙质岩石,后经去挥发分(主要是 CO_2 和部分 O)、脱硅和液态不混溶分离作用而形成的岩浆型砂卡岩,其源区可能为与板块俯冲有关的大陆弧或弧后盆地。

3) 成矿物质和成矿流体的主要来源。根据元素地球化学示踪、同位素(C, O, S 和 Sr-Nd)地球化学示踪和矿物包裹体研究成果,认为铁、钴、铜成矿物质主要来源与石碌群二透岩原岩即中酸性火山岩的同一源区;成矿流体主要为一种类似于高温条件下火山岩变质成因的交代热液,但盆地卤水和/或深源岩浆热液对成矿有重要贡献,且成矿晚期的大气降水因氧化和淋滤作用使富赤铁矿体进一步形成。

4) 成矿作用时代。根据 Sm-Nd 和 Ar-Ar 等多种同位素定年方法,结合区域地壳演化历史,认为石碌铁矿床具有多期成矿作用特点,其主要成矿时代可能包括晋宁—加里东期(约 840Ma)和印支—燕山早期(约 210Ma),其次为燕山晚期(约 130Ma)。

5) 结合区域大地构造演化阶段特征,认为石碌铁矿具有“地槽矿床+地洼矿床改造富化”的成矿大地构造条件,因而属多因复成改造富化型(火山-沉积变质+构造改造+热液叠加)矿床,或称之为石碌式铁钴铜多因复成矿床;其矿化类型主要包括:多因复成铁矿床、多因复成钴铜矿床和多因复成铅锌矿床等。

6) 石碌式铁钴铜多因复成矿床严格受层位(石碌群第六层)、岩性(二透岩或角闪岩质铁英岩、二透岩化白云岩或白云岩质铁英岩、白云岩)、构造(复式向斜、层间滑脱剪切带、构造面理)或岩性界面等因素控制,具有多成矿大地构造演化阶段、多成因类型、多控矿因素、多成矿作用类型和多成矿物质来源的“五多”特点。

4. 成矿作用演化模式和找矿模型

1) 首次建立了石碌铁矿床五阶段成矿作用演化模式,即矿源层或矿胚成矿阶段(约 840Ma 以前)、火山-沉积变质型基础矿床成矿阶段(约 840~250Ma)、构造改造富化成矿阶

段(约 240 ~ 210Ma)、热液叠加成矿阶段(约 130 ~ 90Ma)和氧化淋滤阶段。

2)总结了石碌式铁钴铜多因复成矿床的成矿规律和找矿模型。

a. 构造控制。受轴向 NW—SE 向或近 EW 向的复式向斜严格控制,矿体则主要赋存在向斜的槽部和/或两翼向槽部过渡的部位,且一般呈上铁、下铜的叠置关系。

b. 地层控制。主要赋存在中新元古代石碌群浅变质地体内,其岩性为一套浅海相、浅海相—滨海相/潟湖相的富铁火山-碎屑沉积岩建造和碳酸盐岩建造。

c. 岩性控制。铁矿体主要赋矿岩性为条带状二透岩(或角闪岩质铁英岩);钴铜矿体主要为二透岩化白云岩(或白云岩质铁英岩)和白云岩等。

d. 构造改造。后期成矿阶段的韧-脆性剪切变形对先成矿床/矿体有重要的改造和富化作用,并往往表现同剪切构造成矿的特点。

e. 岩浆控制。与印支—燕山早期以来的花岗岩密切;深部有隐伏岩体存在,矿化发育于岩体隆起部位的外接触带,围绕岩体向外出现 CoCu, Fe(Au), PbZn 的环形分带。

f. 热液蚀变。多期次构造-岩浆活动主要引起硅化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化、透闪石透辉石化、阳起石化、绢云母化、钾长石化和石榴子石化等。

g. 明显出现航磁 ΔT 异常。异常走向总体上与矿区主要控矿构造基本一致,特别是 ΔT 正异常场分布梯度变化的形态与主要控矿构造的形态较为吻合。

h. 在有二透岩存在的地段,凡有磁力和重力异常相叠加的部位,往往可以找到与之相应的富铁矿体。因而该类型矿床可通过磁测、重力、地电和电磁法得以揭示。

5. 矿区石碌群地层层序及第六层主要岩性组成的新认识

1)认为石碌群第六层主要由白云岩、二透岩化白云岩或白云岩质铁英岩、二透岩或角闪岩质铁英岩和(不纯)灰岩组成,且自下而上构成白云岩、二透岩化白云岩、二透岩、二透岩化白云岩、灰岩和白云岩的岩层序列,中夹多层(2 ~ 3 层)铁矿体。

2)根据矿区地质调查和钻孔编录,发现原震旦系石灰顶组(即本书重新划分的石碌群第七层)与下伏石碌群第六层二透岩之间并不存在所谓的底砾岩,两者可能呈断层滑脱接触;此外,石碌群第五层与上覆第六层二透岩同样表现断层滑脱接触关系。

6. 矿区蚀变和变质类型及与成矿关系的新认识

1)根据蚀变和变质矿物类型、生成次序和变形样式,结合成因矿物学分析,认为石碌矿区构造变形过程伴随有多期次、多类型的热液活动和变质作用,矿区蚀变和变质作用包括区域变质作用、(热)动力变质作用、接触变质作用和热液蚀变作用。

2)在地槽发展阶段,至少是加里东期以来的多期次区域变质作用是造成石碌铁矿床的基础矿床(即火山-沉积变质型矿床)的重要原因;地洼发展阶段的早中期,剪切动力变质作用主要导致早期铁矿体进一步富化形成富赤铁矿体,而地洼发展阶段的中晚期的岩浆热液蚀变对晚期钴铜矿化和铅锌矿化有重要的影响。

7. 矿区深、边部及近外围找矿预测区的圈定

1)根据石碌铁矿床的成矿规律和成矿作用演化模式,结合近矿围岩(即二透岩)的空间展布和地球物理及遥感地质勘查和解译成果,将石碌矿区及近外围划分为四个找矿预测区:即保秀-正美预测区、北一-石灰岭-三棱山-花梨山预测区、南六-枫树下-鸡心坳-朝阳预测区和外围预测区。

2)认为矿区中部的北一-石灰岭-三棱山-花梨山区段是寻找富铁矿体的最具远景的地

段;矿区南部的枫树下-枫树顶-鸡心坳-朝阳区段应有较大的找矿潜力;矿区北部的保秀—正美一带及其近外围(特别是石碌岭—七差地区)也是找矿远景区。并强调:

第一,石碌矿区今后的找矿工作重点仍应放在矿区范围内的深、边部,并开拓现有矿段(如南六一枫树下一带)的深部找矿工作。

第二,应重视矿区 Pb, Zn, Au, Ni 等多金属矿产的找矿工作,重点查明其矿化类型、空间分布和赋矿构造部位等,以便为矿山后备资源提供重要科学依据。

8. 找矿预测成果及所揭示的理论和实际意义

1)根据所取得的创新性成果和认识,结合矿区地球物理(可控源、瞬变电磁和三分量磁测等)勘查成果,我们重点对石碌矿区北一-花梨山预测区开展了钻探验证工作。

2)钻探结果证实矿区沿复式向斜轴向东的深部存在“北一式”富铁矿体;位于复式向斜南翼东南部的枫树顶—鸡心坳一带和位于复式向斜北翼东部的保秀—正美一带均具有巨大的找矿远景。此外,矿区东部的深部也是钴铜矿成矿远景区。

3)初步估算,可新增铁矿资源量逾 1 亿 t(333 + 334)、钴铜金属量约 2 万 t。

4)石碌矿区的深部找矿实现了重大突破,地质科研成果为开展石碌矿区深、边部的找矿勘查发挥了重要理论指导作用。

9. 根据石碌式铁钴铜多因复成矿床的成矿规律、找矿标志和找矿模型,结合海南省成矿地质条件的分析,认为:在印支—燕山早期以来花岗质岩侵入的地槽构造层分布区,是寻找石碌式铁钴铜多因复成矿床较有远景的地段,继而将海南全岛初步划分为昌江石碌铁-钴-铜找矿远景区、保亭南好-三亚红石铁-铜-铅-锌找矿远景区、屯昌南坤园铁-金-钼找矿远景区、琼海铁-金找矿远景区和乐东铁-金-铜-钼找矿远景区,并开展了全岛铁矿资源的初步评价。研究成果预期将为在国内与石碌铁矿具有相同或相类似成矿地质条件的地区开展找矿预测起到示范勘查作用

上述成果中 1, 2, 3, 4, 7, 8 和 9 是本项目组的创新性认识,具有重大的成矿地质理论意义和巨大的实用性价值;而 5 和 6 是在前人工作基础上进一步深化和提高自己的结果。这些成果和认识是由中国科学院广州地球化学研究所和海南省地质勘查局共同完成的,也是项目组全体参加人员共同智慧的结晶。

本书全文共分 9 章,各章执笔人如下:前言为作者;第一章为许德如、肖勇、蔡仁杰;第二章为许德如、侯威、夏斌、肖勇、王力;第三章为肖勇、许德如、刘朝露、符启基;第四章为许德如、夏斌、肖勇、马驰;第五章为许德如、赵斌、肖勇、王智琳、吴俊;第六章为许德如、王力、王智琳、肖勇;第七章为许德如、王智琳、肖勇、赵斌;第八章为许德如、肖勇、王力;第九章为肖勇、许德如、刘朝露、符启基;结束语为肖勇、许德如。全书最后由许德如、肖勇统编和定稿。

本书由中国科学院院士翟裕生教授作序。研究工作始终得到了中国科学院资源环境与科学技术局局长范蔚茗研究员、中国科学院广州地球化学研究所徐义刚研究员、林舸研究员、王核研究员、李文铅研究员、张玉泉研究员、李朝阳研究员、何宏平研究员和陈衍景研究员,海南矿业联合有限公司陈国平董事长、刘明东总经理、林凤鸣副总经理、郭凤芳总工程师和兰舟部长,海南钢铁公司原总经理刘明贵高级工程师和陈斌总经理,以及中国地质科学院矿产资源研究所毛景文研究员等领导、专家的关怀和大力支持;野外工作得到了海南矿业联合有限公司梁将工程师和海南省地质勘查局资源环境调查院黄居锐工程师、周学军助理工程师、陈作芬高级工程师、陈勇等同志的无私帮助;在矿山地质调查期间,中国工程院院士裴

荣富研究员还莅临指导。室内测试和数据解释有助于中国科学院广州地球化学研究所刘颖副研究员、涂湘林副研究员、白振华研究员和梁细荣研究员,以及中国地质科学院矿产资源研究所、中国地质科学院廊坊地球物理和地球化学勘探研究院、中国地质科学院宜昌地质研究所、中国地质大学(武汉)、中国地质科学院地质研究所和地质力学研究所等兄弟单位的帮助。作者对上述单位和个人的支持和帮助表示诚挚的感谢!

此外,要特别提到的是,本书中所引用的部分地球物理勘查资料和成果(瞬变电磁 TEM、可控源音频大地电磁 CSAMT 和高精度磁测)系海南省地质勘查局委托广东省地质勘查局地球物理探矿大队完成的。对广东省地质勘查局地球物理探矿大队的辛勤劳动和所取得的成果表示衷心地感谢!

本书是在以往研究成果的基础上完成的,也是多年来研究成果的进一步升华。虽然有关石碌铁矿床的成因和成矿物质富集规律等认识方面有所突破,但由于工作条件与研究水平有限,有些工作尚待进一步深入,所提出的认识尚需大量证据的支持。因此,本书肯定还存在着不少问题,恳切期望各位专家和读者批评、指正!

作者

2009 年 7 月 12 日于广州

目 次

序

前 言

第一章 国内外研究现状	(1)
第一节 以往区域地质和矿产工作	(2)
第二节 以往矿区地质工作	(3)
第三节 以往矿山地质勘探工作	(4)
第四节 国内外研究现状	(5)
第二章 区域成矿地质背景	(16)
第一节 区域地质概况	(16)
第二节 海南岛构造体系	(23)
第三节 海南岛构造成矿系统	(33)
第三章 矿区地质特征	(37)
第一节 矿区地质概况	(37)
第二节 矿区地球物理特征	(39)
第三节 矿区赋矿围岩	(46)
第四节 矿区控矿构造	(49)
第五节 矿区侵入岩	(52)
第六节 矿区矿产分布	(53)
第七节 矿区主要矿体地质特征	(55)
第八节 矿区矿体产出特征	(56)
第九节 矿区矿石类型及结构构造	(60)
第十节 矿区变质特征	(62)
第四章 矿区构造变形特征	(67)
第一节 矿区和区域地质调查	(67)
第二节 矿区控矿和赋矿构造特征	(93)
第三节 矿区构造变形序列	(97)
第四节 岩石组构(简称岩组)分析	(102)
第五节 矿区构造变形机制	(114)
第五章 矿物包裹体特征	(124)
第一节 矿物成因学特征	(124)
第二节 矿物包裹体类型及基本特征	(135)

第三节	矿物包裹体在升温过程中的变化	(147)
第四节	群体包裹体成分分析	(154)
第五节	讨论和初步结论	(157)
第六章	矿床地球化学示踪	(160)
第一节	元素地球化学示踪	(160)
第二节	稳定同位素地球化学	(192)
第三节	Sr-Nd 同位素地球化学	(200)
第四节	二透岩的成因特征	(210)
第五节	成矿物质和成矿流体来源	(217)
第七章	石碌铁钴铜多因复成矿床	(219)
第一节	成矿大地构造演化阶段	(220)
第二节	成矿作用时代	(222)
第三节	成矿的控矿因素	(236)
第四节	矿床成因类型	(237)
第八章	成矿规律和成矿模式	(247)
第一节	岩浆成矿作用	(247)
第二节	变质核杂岩构造与成矿关系	(249)
第三节	构造成矿作用	(256)
第四节	成矿规律和成矿模式	(258)
第五节	找矿标志和找矿方向	(260)
第九章	成矿远景与找矿预测	(264)
第一节	区域遥感地质解译	(264)
第二节	矿区及近外围地球物理测量	(270)
第三节	矿区及近外围成矿远景与勘查建议	(286)
第四节	矿区钻探工程验证及资源量估算	(289)
第五节	海南省铁矿找矿预测及勘查建议	(292)
结束语		(299)
参考文献		(302)

Contents

Preface

Introduction

1 Research Status Quo at Home and Abroad	(1)
1.1 Previous work on regional geology and mineral resource	(2)
1.2 Previous work on ore geology	(3)
1.3 Previous work on mine prospecting	(4)
1.4 Research status quo at home and abroad	(5)
2 Regionally Geological Background of Metallogeny	(16)
2.1 General situation on regional geology	(16)
2.2 Structural system on Hainan Island	(23)
2.3 Ore-forming structural system on Hainan Island	(33)
3 Geological Characteristics on Mining District	(37)
3.1 Ore geology in the Shilu mining district	(37)
3.2 Geophysical characteristics in the Shilu mining district	(39)
3.3 Ore-bearing rocks in the Shilu mining district	(46)
3.4 Ore-controlling structures in the Shilu mining district	(49)
3.5 Intrusive rocks in the Shilu mining district	(52)
3.6 Distribution of ore-bodies in the Shilu mining district	(53)
3.7 Geological characteristics of main ore bodies	(55)
3.8 Morphologies and attitudes of main ore bodies	(56)
3.9 Ore type, texture and structure in the Shilu mining district	(60)
3.10 Metamorphic characteristics in the Shilu mining district	(62)
4 Structural Deformation in the Shilu Mining District	(67)
4.1 Geological survey in the Shilu mining district and its adjacent region	(67)
4.2 Ore-controlling and ore-bearing structures	(93)
4.3 Structural deformation sequence	(97)
4.4 Rock fabric analysis (petrofabric for short)	(102)
4.5 Mechanism for structural deformation	(114)
5 Characteristics of Mineral Inclusion	(124)
5.1 Characteristics of genetic mineralogy	(124)
5.2 Type and basic characteristics of mineral inclusion	(135)

5.3	Change of mineral inclusion with increasing temperature	(147)
5.4	Analysis on inclusion group	(154)
5.5	Discussion and preliminary conclusion	(157)
6	Geochemical Tracing on Genesis of the Ore Deposit	(160)
6.1	Element geochemical tracing	(160)
6.2	Stable isotopic geochemical tracing	(192)
6.3	Sr-Nd isotopic geochemical tracing	(200)
6.4	Genetic characteristics of the diopside-tremolite rock	(210)
6.5	Sources of ore-forming metal and fluid	(217)
7	Shilu Iron-Cobalt-Copper Polygenetic Compound Ore Deposit	(219)
7.1	Geotectonic evolutionary stage of metallogeny	(220)
7.2	Mineralizing epoch	(222)
7.3	Ore-forming controlling factor	(236)
7.4	Ore-deposit type	(237)
8	Metallogenic Regularity and Model	(247)
8.1	Metallogeny related to magmatism	(247)
8.2	Metallogeny related to metamorphic core complex structure	(249)
8.3	Metallogeny related to tectonism	(256)
8.4	Metallogenic regularity and metallogenic model	(258)
8.5	Prospecting criteria and prospecting direction	(260)
9	Metallogenic Foreground and Ore Prediction	(264)
9.1	Interpretation on regionally remote sensing geology	(264)
9.2	Geophysical measurement in mining district and its adjacent region	(270)
9.3	Suggestion on metallogenic foreground and exploration in the Shilu mining district and its adjacent region	(286)
9.4	Drilling project and estimation of mineral resource in the Shilu mining district	(289)
9.5	Suggestion on iron-ore prediction and exploration on Hainan Island	(292)
Conclusions		(299)
References		(302)

第一章 国内外研究现状

位于海南省昌江县境内的石碌铁矿是以铁矿(主要是赤铁矿、少为磁铁矿)为主,共生或伴生有钴、铜、镍、铅锌、银(金)等多金属和白云岩、重晶石、石膏、硫等非金属矿产的大型-超大型矿床,曾誉为“亚洲最大的富铁矿”。目前已在矿区内发现大大小小的铁矿体 38 个、钴矿体 17 个、铜矿体 41 个,所探明的铁矿石储量达 4.17 亿 t 以上(最高品位达 69% 以上、平均品位 51.15%)、钴矿石储量约 4.07Mt(最高品位达 1.1% 以上、平均品位 0.294%)、铜矿石储量约 6.65Mt(最高品位达 18% 以上、平均品位 1.18%);Ni、Ag、PbZn 等也具有一定规模。另外,在矿区近外围还发现有铁、铜、铅锌、钨、锡、金等金属和石灰岩、粘土、石英砂、锆钛砂等非金属矿床(点)多处。目前,像石碌铁矿规模如此大、品位如此高、共生或伴生有用组分如此多、且以富赤铁矿为主的铁矿床在国内、甚至国外还鲜有报道。石碌铁矿不仅具有很高的经济价值和极好的找矿前景,而且具有极高的成矿学研究价值,因而是我国地质学家、矿床学家和找矿勘查专家等长期关注的重点矿体。

自 20 世纪 50 年代开展勘探和开采以来,为正确地厘定石碌铁矿床的成因、查清矿区成矿规律,以有效地指导找矿勘查工作,国内许多学者和单位曾对该矿床的区域成矿地质背景、成矿地质条件、矿床地质和地球化学特征等开展了系列研究(陈国达等,1977;冷盛强等,1979;刘成湛等,1979;冯建良,1980;冯建良等,1981a,b;刘裕庆,1981;Yu and Lu, 1983;王寒竹,1985;梁金城等,1985;华南富铁科研队,1986;张淦才,1989;张仁杰等,1989、1992;方中等,1993;许德如等,2007a、2008;侯威等,2007)。但由于石碌铁矿床成矿地质条件复杂、矿床地质特殊,其成因一直未能取得统一认识,尚存在:①铁矿、钴铜矿均为高温热液接触交代成因。②铁矿为沉积变质成因、钴铜矿为热液成因。③铁、钴铜矿均为卤水沉积变质或热卤水沉积加后期变质热液叠加复合成因(沈保丰等,2005)。④均为火山-沉积变质成因等不同观点。初步对比还表明(许德如等,2008),该矿床赋矿围岩、矿石类型和结构、变质/蚀变特征、控矿构造和矿体产状以及矿床地球化学特征等既与国内外某些苏必利尔 BIF 型铁矿床(如巴西以白云岩质铁英岩为矿源层的 Águas Claras 铁矿:Spier et al., 2003)、火山-喷流沉积型铁铜矿床(如我国甘肃镜铁山铁铜矿:涂光炽等,1978;薛春纪等,1997;Sun et al., 1998;刘华山等,1998)和层状或层控式铁铜钴矿床类似(Bajwah et al., 1987;Nold, 1990;Nash and Connor, 1993),同时又兼具热液 IOCG 型矿床(即 Hydrothermal Fe oxide-Cu-Au-Co deposits: Hitzman et al., 1992; Hitzman, 2000; Haynes, 2000; Williams et al., 2005;毛景文等,2008)的某些成矿特点;虽然该矿床不同于典型的与岩浆热液有关的矽卡岩型铁矿床(Einaudi et al., 1981;Meinert et al., 2003、2005),但又可与国内某些层控式矽卡岩型铁矿床(如常印佛和刘学圭,1983)类比。这些事实均说明石碌铁矿不仅具特殊的成矿地质背景和成矿环境,同时有较特殊的成矿类型和成矿机制,因而该矿床可能是一种特殊成因类型的铁矿床,反映其成矿系统的独特性。再加之自 20 世纪