

国土资源部百名杰出青年基金资助项目

海南乐东抱伦金矿 地质及矿产预测

HAINAN LEDONG BAOLUN JINKUANG DIZHI JI KUANGCHAN YUCE

丁式江 傅杨荣 杨立强 邓 军 著
廖香俊 吴国爱 符 峰

地质出版社

国土资源部百名杰出青年基金资助项目

海南乐东抱伦金矿 地质及矿产预测

丁式江 傅杨荣 杨立强 邓 军 著
廖香俊 吴国爱 符 峰

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

以成矿系统及其演化理论为指导,运用矿床地质学、构造地质学、矿床地球化学、勘查地球物理学、勘查地球化学、非线性成矿学、成矿动力学数值模拟及钻探工程验证等多学科方法手段,深入剖析了海南乐东抱伦金矿床的成因和成矿规律,基本查明了抱伦金矿床的地质-地球化学特征、成矿动力学过程及综合地质异常时空结构;在此基础上,进行了矿区深部矿产预测;通过工程验证,扩大了矿床远景规模,为指导区域找矿提供了科学依据。本专著主要包括如下内容:剪切带型金矿构造成矿概论、区域岩石建造与成矿物质来源、控矿构造系统分析、矿床地质-地球化学特征及成因模式、地质异常时空结构、成矿动力学数值模拟、矿产预测及工程验证。

本书是成矿学理论与隐伏矿体预测勘查工作相结合的成功范例,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

海南乐东抱伦金矿地质及矿产预测 / 丁式江等著. —北京:地质出版社,2007. 8

ISBN 978 - 7 - 116 - 05417 - 2

I. 海… II. 丁… III. ①金矿床-采矿地质学-海南省
②金矿床-矿产预测-研究-海南省 IV. P618.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 111271 号

责任编辑:李 莉

责任校对:王素荣

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)82324573(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:889mm × 1194mm¹/₁₆

印 张:13.25 彩图:44 面

字 数:380 千字

印 数:1—800 册

版 次:2007 年 8 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:50.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 05417 - 2

(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

我国正处于经济快速发展时期，国民经济建设对矿产资源的需求与日俱增，资源短缺和供需矛盾日益尖锐。为保证矿产资源的持续供应和国家资源安全，需要加强矿床研究以指导矿产勘查的重大突破。同时，对地球系统的广泛研究和地球系统科学的兴起、地球探测技术的革新和海量信息的积累、全球性矿业的再度复苏，以及社会发展对地球科学的多方面需求，都为矿床学的发展提供了契机。近年来，新的矿床研究成果不断涌现，《海南乐东抱伦金矿地质及矿产预测》就是很有特色的一部专著。

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。其矿产资源的最显著特征是“一铁”（昌江石碌铁矿）、“二金”（戈枕金矿带及乐东抱伦金矿），均以其高品位而闻名全国。石碌铁矿已有很长的开发与研究历史；戈枕金矿带为 20 世纪 80 年代末至 90 年代初发现与勘查评价，现已转入开发阶段；抱伦金矿则为 90 年代中期发现，研究工作刚刚起步，亟须加强与深化对其成矿规律和预测勘查的认识，进一步提高隐伏矿体预测的科学性和探矿工程布置的合理性。

受国土资源部百名杰出青年基金项目资助，海南省地质调查院和中国地质大学（北京）等单位联合，开展了“海南乐东抱伦金矿地质及矿产预测”地质科研项目。项目以成矿系统及其演化理论为指导，运用多学科方法手段，完成了大量野外和室内实物工作量，获得了翔实可靠的数据资料。通过系统研究，基本查明了抱伦金矿床地质特征及主要控矿因素，深入探讨了其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，为圈定找矿靶区、扩大矿床远景规模及指导区域找矿工作提供了科学依据，并取得显著找矿成效，树立了成矿学理论研究与隐伏矿体预测勘查工作相结合的典范。其突出成果是运用矿床地质学、构造地质学、矿床地球化学、勘查地球物理学、勘查地球化学及非线性成矿学等多学科方法手段，深入剖析该金矿床成矿动力学过程与综合地质异常时空结构，结合区域成矿学研究，提出了构造动力体制临界转换成矿的认识，并利用成矿动力学数值模拟方法进行了反演验证；指出区域构造体制的多期次转换，导致控矿构造应力场的多期次转换，控制了抱伦金矿床及其邻区多期次流体—岩石蚀变和矿化作用；持续的岩浆活动、构造动力体制转换及多次的应力集中—释放、丰富的富含矿质的流体三者共同作用，是形成大型—超大型金矿床和矿集区的最有利条件。根据抱伦金矿床及其区域各种地

质-成矿信息,厘定并集成了找矿标志体系,构建了成矿预测模型,进行了矿区深部矿产预测;通过对提交的预测靶区实施第1阶段工程验证,新发现了隐伏金矿体4条;结合前期验证结果,全区共探获(333+334₁)金金属量近80 t;且随着找矿验证工作的进一步展开,可望达到超大型金矿床远景规模。

本书是在该项目成果的基础上,经进一步加工深化而成。专著内容丰富、论据充分、论证严谨、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。其特色是运用成矿系统和地质异常的理论与方法,深入剖析抱伦金矿床的成矿特征与成矿过程,并进行卓有成效的成矿预测,取得理论探索和找矿勘探的双重效益,是成矿学理论与矿产勘查工作相结合的成功范例。

期望本书的出版将能进一步推动我国金矿地质研究与找矿工作的进展。我谨在此对《海南乐东抱伦金矿地质及矿产预测》专著的问世和著者取得的丰硕成果致以衷心的祝贺。

翟裕生

2007年5月于北京

前 言

专家们运用控矿条件、矿床成因、矿床模型、成矿系列、成矿轨迹、成矿时空结构以及物化探异常和遥感异常等各种理论和方法,以达到成功预测矿床的目的,具有一定成效,但仍有较大风险。因此,成矿预测成为当代最受关注、最复杂的地质课题之一。

矿产资源的易勘探时代正在过去,浅部矿体的发现速率在减慢,这意味着未来矿产勘探的成功将越来越依赖于成矿学理论的发展。未来的勘探将不再是以直接检测矿化的简单勘查方法为主的传统方式,而是以成矿学理论指导下的多方法有机结合的勘查模式为中心的新方式。未来成矿学研究将立足于对壳-幔四维地质图的了解,建立成矿系统的结构和演化模型,提炼出反映成矿要素的各种地质、地球物理和地球化学参数或标志,促进地质、地球物理、地球化学、遥感、钻探等多种方法的有机结合,提高其综合找矿效率。

矿床学发展有2个并行不悖的方向:一个是成矿学(成矿理论)方向,它侧重于成矿过程、成矿机理及其背景研究;一个是应用矿床学或经济地质学方向,它侧重于矿床模型和成矿预测、评价。应用矿床学和成矿学互为依托,应用矿床学是成矿学的基础,而成矿学是应用矿床学的进一步整合和提高。勘查理论形成了以地球动力学为核心的众多生长点,随着对地球深部结构认识的提高,地质学家逐渐认识到成矿作用是地球动力学过程的一部分,受壳-幔相互作用的影响。表现在成矿模式、成矿系列研究逐步发展成为成矿谱系和成矿系统理论,提出了岩石圈构造不连续与成矿作用、地幔柱与成矿作用、超大陆旋回与成矿作用、流体与成矿作用等一系列新认识。勘查技术研究的深入,推动了应用矿床学的发展;地球化学场分形结构和超低密度地球化学填图,使矿产勘查工作快速实现从区域到局部的转变;地球物理数据有利于解释区域地质构架,预测热液矿化的有利环境及大型矿集区;建立了以GIS为手段的综合信息成矿预测体系;现代非线性理论,如耗散结构理论、神经网络理论、分形与混沌理论等,为矿产资源定量预测提供了新的思路和途径。

成矿学领域亟待研究的课题包括:深部过程、浅表环境与成矿系统;重大地质事件与成矿;生命活动与成矿;物理成矿作用和海洋成矿作用。成矿预测未来发展方向包括:矿床的中一大尺度预测;地质参数与地球物理、地球化学参数的连接;地壳中的流体和成矿预测;地球动力学与大型、超大型矿床及矿化集中区预测等。

一、研究目的和任务

海南岛地处我国环太平洋构造-成矿带的最南端的华南板块南部,由北部的南华活动带(华力西期褶皱带)和南部的琼南微陆块(属南海盆地)构成,为我国环太平洋构造、岩浆、成矿带的重要区段,矿产资源较为丰富。其矿产资源的最显著特征是“一铁”(昌江石碌铁矿)、“二金”(戈枕金矿带及乐东抱伦金矿),均以其高品位而闻名全国。石碌铁矿有很长的开发与研究历史;戈枕金矿带为20世纪80年代发现与勘查评价,现已转入开发阶段;而抱伦金矿则在90年代中期开始勘查工作,研究工作刚刚起步,亟待加强与深化。

抱伦金矿床位于海南岛西南部乐东县城西北方向19 km处,处于抱伦农场西北边部,行政区划属于乐东县千家镇管辖。矿区面积约14.2 km²,北自望楼河北岸,南至重烂岭,东起三疗村

西 300 m, 西至 405.8 高地。矿区范围地理坐标为东经 $109^{\circ}00'15'' \sim 109^{\circ}01'30''$, 北纬 $18^{\circ}38'15'' \sim 18^{\circ}40'00''$ 。该矿床的平均金品位 $3.29 \sim 29.27 \text{ g/t}$, 个别为 98.05 g/t (V_{1-7}), 单样最高品位为 282.70 g/t (V_{1-3})。主矿段为位于矿区北部的豪岗岭矿段, 其范围大致以豪岗岭为中心, 向北至望楼河边, 向南约 560 m, 东西各 500 m, 面积约 1.3 km^2 , 其中 I 号脉带位于该矿段中部, 面积 0.13 km^2 。截至目前, 在豪岗岭矿段 I 号脉带共探获 C + D + E 级金储量 58.474 t, 其中 C + D 级金储量为 14.083 t, E 级金储量 44.391 t (丁式江等, 2000)。该矿床为典型的高品位、大吨位金矿床, 是除昌江县石碌铁铜钴矿之外, 海南岛最重要的大型金属矿床。该矿床的勘查、开发和综合研究工作, 对当地经济发展和人民生活的改善, 以及对带动整个海南岛金矿普查找矿工作, 都有着极其重要的意义。

但是, 随着找矿工作的逐步展开, 制约抱伦金矿勘查突破、影响工程部署的一系列问题也凸显出来。基于扎实的基础地质和深入的科研工作, 综合分析、集成现有大量的地质、矿产、物探、化探、遥感及科研资料, 深化对抱伦金矿成矿规律和成矿预测的认识, 进一步提高隐伏矿体预测的科学性和探矿工程布置的合理性, 已成为当务之急。

为此, 受国土资源部百名杰出青年基金项目资助, 海南省地质调查院和中国地质大学(北京)等单位联合, 设立了“海南乐东抱伦金矿地质及矿产预测”地质科研项目。旨在通过产学研联合攻关, 理论与勘查实践密切结合, 通过对抱伦金矿床成因的探讨和找矿预测研究工作, 查明抱伦金矿床主要控矿因素及其成矿贡献, 再现其成矿作用过程与动力学机制, 阐释其成矿构造物理化学场时空结构, 总结矿化富集规律, 构建抱伦金矿多元信息找矿模型, 为抱伦金矿床深、边部及外围圈定找矿靶区提供依据, 指导区域找矿工作, 扩大矿床远景规模。

二、地质调查与研究沿革

(一) 区域地质调查与研究

抱伦金矿区最早的正规基础地质调查工作, 可以追溯到 1958 ~ 1963 年, 当时广东省地质局区域地质测量大队开展海南岛 1:20 万区域地质测量工作时, 对该区的基础地质情况如地层、构造及岩浆岩进行了调查。

之后, 1974 ~ 1981 年, 广东省地质局海南地质大队对位于抱伦金矿区南约 10 km 的石门山-看树岭钼多金属矿区进行了地质普查, 并探明了数处中、小型钼多金属矿床。

1988 ~ 1991 年, 四川省地矿局攀西地质大队在开展 1:5 万尖峰幅和乐东幅区域地质调查时, 对抱伦矿区北部一带的基础地质作了比较详细的调查研究。

从 1996 年开始, 为了配合该区金矿资源调查, 海南地质综合勘察院区调队有针对性地开展了对抱伦金矿区附近的 2 幅 1:5 万区域地质调查工作, 并于 2000 年完成 1:5 万黄流幅和千家幅区域地质调查报告。该报告对矿区及其南部进行了较详细的基础地质研究。

地球化学调查方面, 江西省物化探大队 1990 年在海南岛开展 1:20 万水系沉积物测量工作中, 对该矿区的水系沉积物作了地球化学特征研究, 并圈定了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等元素的综合异常(综合异常编号 AS-181-乙)。

(二) 矿区民采简史与专题地质工作

1. 民采简史

本区金矿资源的小规模民采活动始于 20 世纪 90 年代初期, 最初是沿着原生矿区附近的望楼

河及其支流小溪中淘采砂金,后来逐渐发现了抱伦矿区北部豪岗岭一带的石英脉型原生金矿床,于是民采活动便转移到以开采抱伦原生金矿脉为主,第一个民采点在豪岗岭南坡(民采称前山)的冲沟内。

由于民采的开采方法和选冶设备比较简陋,并采取掠夺性开采,因而资源回收率比较低,并导致了较为严重的资源浪费。期间政府曾经多次对矿山民采进行整顿,但不久又恢复开采,因而严重影响了地质勘查工作的开展。1996年,武警黄金部队配合政府有关部门再次对矿山进行整顿,民采阶段方告结束。自此抱伦金矿区的勘查开发步入正轨,地质工作得以正常开展。

2. 地质普查及科研工作

海南地质综合勘察院对抱伦金矿区的地质普查工作始于1992年,后因矿区治安恶化,而于1993年上半年撤出。在充分认识该区的成矿潜力后,1995年重新派队伍进驻矿区普查。初期阶段普查面积为 6 km^2 ,后扩至 14 km^2 ,目前为 48 km^2 。金矿普查初期未分矿段,后来划分出北部的豪岗岭矿段和南部的南矿段,目前铁弯岭和重烂岭属外围普查地段。2000年完成的豪岗岭矿段1号脉带普查,工作程度在 V_{13} 主矿体达到详查程度,其余矿体属于普查程度(丁式江等,2000)。

1995年,海南省地质矿产勘查开发局以琼地发[1995]13号《关于下达一九九五年地勘费和基建费计划的通知》给海南地质综合勘察院下达了“海南岛矿产综合普查”项目书,其中包括乐东抱伦金矿普查。通过前期普查工作,大致查明了矿区地质、构造及矿化特征,圈定了 Tr_1 、 Tr_2 、 Tr_3 、 Tr_4 、 Tr_5 5条矿化破碎带及 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 等13条金矿体,初步求得D+E级黄金储量 2.58 t ,于1995年底提交《海南省乐东县抱伦金矿区普查地质工作设计》。1996年该项目被列为部控重点项目,并以琼地矿[1996]01号《关于下达一九九六年地质工作计划任务的通知》给海南地质综合勘察院下达了“乐东县抱伦金矿普查”项目书。

随着勘查工作的深入,矿床规模的不断扩大,海南地质综合矿产勘查开发局于1997年琼地发[1997]03号文、1998年琼地发[1998]16号文下达的各年度地质工作计划中,在对矿区普查工作追加工作量及经费投入的同时,对矿区的勘查开发工作均作了具体的部署。下达钻探工作量分别为1997年900 m、1998年1700 m。

1999年抱伦金矿评价列入国土资源大调查项目,中国地质调查局于1999年9月以0499146100号、2000年3月以0400146100号、2001年1月以70401146158号、2002年4月以资[2002]051-01号地质调查项目任务书的形式,向海南省地质调查院下达了“海南乐东县抱伦及外围金矿评价”项目书。

对该矿床的综合科学研究工作,首先由中国地质科学院地质力学研究所与海南地质综合勘察院共同完成了《海南省乐东九所-抱伦地区金、银、钼多金属矿控矿构造及成矿规律研究》报告,着重对抱伦金矿床及其邻区的控矿构造特征及矿床成因进行了研究调查(李中坚等,2000)。之后,由北京大学地球与空间科学学院与海南地质综合勘察院共同完成了《海南抱伦金矿成矿模式、成矿规律与预测》的研究报告,工作重点是矿石学、放射性同位素年代学以及流体包裹体研究(刘玉琳等,2002)。由中国地质科学院地质力学研究所与海南地质综合勘察院共同完成了《海南岛高品位大型热液金矿床调查预测与典型矿床研究》的研究报告,研究的重点是同位素年代学、流体地球化学、稳定同位素和微量元素地球化学工作(王平安等,2004)。

三、本次工作情况

本次完成了大量野外及室内工作,除进行较系统的野外地质和坑道地质调查工作外,还有针对性地开展了较为系统的地质普查、地球化学测量、地球物理探测和遥感地质解译等研究。在此

基础之上，集成地质学、地球物理学、地球化学和遥感地质学等多学科研究成果，利用分形统计学和成矿动力学数值模拟等现代方法技术，剖析了其成矿作用过程与动力学机制，基本查明了抱伦金矿床主要控矿因素，深化了对矿化富集规律的认识，构建了抱伦金矿多元信息找矿模型，进行了矿产预测及工程验证工作（表 1）。完成的主要研究内容包括：

表 1 完成实物工作量一览表

项 目	单位	完成工作量	备 注
1：2000 地质填图	km ²	5.484	豪岗岭 2.6 km ² ，重烂岭 2.884 km ²
1：1000 地质剖面测量	km	2.87	
槽探	m ³	2000	
钻探工程验证	m	2895.4	豪岗岭南部Ⅱ、Ⅳ号脉带
α 卡测量	km	21	豪岗岭 8 km，重烂岭 13 km
1：1 万土壤测量	km ²	16.16	豪岗岭 10.40 km ² ，重烂岭 5.76 km ²
壤中气汞测量	km ²	5.51	豪岗岭南部测线 13 条，测点 1522 个
1：5 万遥感解译	km ²	3600	
基本分析样	个	2451	其中内检 282 个，外检 125 个
光谱分析样	个	608	
野外采集岩、矿石样品	件	248	
定向标本	块	11	
野外照片	张	287	
磨制和观察、测量包裹体片、光片和探针片	片	75	
分选单矿物	件	55	
岩矿鉴定样	个	271	
流体包裹体岩相学及温度测定	件	157	
电子探针成分分析	件	209	
稀土、微量元素分析	件	24	
岩浆岩磁化率测量	m	680	观测点 7 个，获得数据 71 个
Ar-Ar 年龄测定	件	2	获得数据 180 个
Rb-Sr 年龄测定	件	7	
U-Pb 年龄测定	件	2	
Pb-Pb 年龄测定	件	2	
K-Ar 年龄测定	件	11	
多元素化学分析	件	45	
流体包裹体液相成分测定	件	15	
流体包裹体气相成分测定	件	15	
流体包裹体氢同位素测定	件	15	
流体包裹体碳同位素测定	件	15	
硅酸盐氧同位素测定	件	15	
硫同位素测定	件	15	
数值模拟	机时	2000	
			控矿构造应力场、热流场等

- 1) 利用构造解析、有限应变分析、岩石磁组构测量、断裂带分形研究、控矿构造应力场有限元数值模拟及裂隙网络变形-流动耦合离散元数字仿真等方法手段，深入研究了抱伦金矿床的控矿构造系统，本区主要储矿构造为豪岗岭背斜核部 NNW 向的断裂破碎带，该断裂破碎带具有压扭性特征，断面陡倾，破碎带较狭窄，延深较大，矿体的产出状态与控制它们的断裂发育特征呈现出非常好的协调性，提出了构造动力体制临界转换成矿的认识。指出区域构造体制的多期次转换，导致控矿构造应力场的多期次转换，控制了抱伦金矿床及其邻区多期次流体-岩石蚀变和矿化作用。构造动力体制转换是本区大规模成矿作用的必要条件。
- 2) 在详细地质研究基础上，从区域岩石建造、地质体的含金性、成矿元素组合特征、金的赋存状态和可活化度等多个方面深入解析了抱伦金矿床区域地质体的含矿性，探讨了其成矿物质

来源。指出陀烈组及尖峰花岗岩是本区金的主要矿源岩，且尖峰岩体还起到热机的作用。

3) 系统利用地质填图、野外实地调查、矿相学和矿物学研究、微量和稀土元素分析、同位素和流体包裹体测试等方法技术，重点研究了抱伦金矿床的地质-地球化学特征，基本查明了金矿体分布、数量、形态、产状、规模及矿石品位，划分了矿石自然类型和成矿阶段，深入剖析了成矿作用过程与动力学机制，构建了矿床成因模式。指出抱伦金矿床矿化类型较简单，矿体向 S 侧伏，侧伏角 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ；成因属与印支期尖峰岭花岗岩体有关的脉状中温热液矿床；矿石富含 Bi 元素和 Bi 矿物（硫化物）；成矿流体富含 CO_2 ；主成矿期的年龄为 $205.26 \sim 216.04 \text{ Ma}$ ，成矿作用晚于花岗岩侵入 $10 \sim 20 \text{ Ma}$ 。

4) 开展了找矿方法研究，包括：①对矿区开展 1:1 万壤中气汞测量及自然 α 卡测量的试验工作，结果表明两者均较好地反映出断裂破碎带的位置，相比而言，壤中气汞异常对指示矿化构造带更加灵敏；根据汞气异常推断的构造带，结合地球化学异常，经工程揭露，控制到 Tr_4 号含矿破碎带 $V_{4.1}$ 、 $V_{4.2}$ 矿体。②次生晕和原生晕研究，研究结果均显示深部金矿化的潜力较大。③遥感解译及成矿预测，圈定了 12 个找矿靶区。

5) 深入剖析了其综合地质异常时空结构，根据不同信息对成矿的指示作用确定预测原则，厘定并集成找矿标志体系，构建了成矿预测模型，进行了矿产预测。指出矿区西南部陀烈组中及深部具有进一步找矿的潜力，豪岗岭矿段 I、II、IV 号脉带向南延伸的深部找矿前景巨大，南矿段 Tr_6 、 Tr_7 和 Tr_8 几条破碎带的深部也具找矿潜力，重烂岭矿段及其西南部老地层是扩大矿床规模的找矿远景地区。

6) 在上述研究成果的指导下，圈定出 8 个找矿靶区，通过对提交的预测靶区实施第 1 阶段工程验证，新发现隐伏金矿体 4 条。新增加资源储量 6276 kg ，结合前期验证结果，全区共探获 $(333 + 334_1)$ 金金属量 $80\,186 \text{ kg}$ ，其中 333 资源量 $22\,259 \text{ kg}$ ， 334_1 资源量 $57\,927 \text{ kg}$ 。且随着找矿验证工作的深入，可望达到超大型金矿床远景规模。

7) 通过区域成矿学研究，指出持续的岩浆活动、构造动力体制转换及反复多次的应力集中—释放过程、丰富的富含矿质的流体三者共同作用，是形成大型—超大型金矿床和矿集区的最有利条件。断裂构造的分形研究表明，海南岛中西部金矿集中区断层系统在 $5 \sim 75 \text{ km}$ 尺度内符合分形分布，且断层分维值的大小可作为判断矿化强弱的指标：断层的分维值 ≥ 1.5 是矿化集中区的标志；分维值小于 1.4 不利于规模成矿；断层的分维值较大是形成金矿化的有利条件，若形成超大型矿床则断层系统需处于临界分维状态 ($D_c \approx 1.5$)。白沙元门地区断层分维 ($D = 1.49$) 接近于临界分维，预示该区有良好的找矿前景。

四、分工及致谢

(一) 分工

本项目由丁式江、杨立强任负责人。海南省地质调查院参加人员有：丁式江、傅杨荣、廖香俊、吴国爱、符峰、张文涛、张小文、吴坤成、杨奕、谢顺胜、潘祖平、何国伟等。中国地质大学（北京）参加人员有：杨立强、邓军、高帮飞、郭春影、龚庆杰、王庆飞、徐浩、邢学文等。

本书是在该项目成果的基础上，经进一步加工深化而成。主要由丁式江、傅杨荣、杨立强、邓军执笔，由丁式江主持，具体分工如下：前言，丁式江；第一章，邓军，丁式江，杨立强；第二章，丁式江，邓军，傅杨荣；第三章，丁式江，杨立强，傅杨荣；第四章，杨立强，丁式江，傅杨荣；第五章，丁式江，杨立强；第六章，傅杨荣，丁式江；结论，丁式江。全书由丁式江、杨立强统编定稿。

（二）致谢

研究工作得到国土资源部国际合作司和中国地质调查局项目的资助。工作过程中，得到海南省国土环境资源厅、海南省地质调查院、海南地质综合勘察院、中国地质大学（北京）等单位的支持与协作。中国地质大学翟裕生院士、中国地质调查局原局长叶天竺教授、国土资源部咨询研究中心黄崇轲教授等对作者的勘查研究工作一直给予悉心的指导和关怀。研究工作还得到北京大学刘玉琳教授、中国地质科学院地质力学研究所王平安研究员、李中坚研究员、谭成轩研究员、中国航空物探遥感中心李志忠教授及英国帝国学院（Imperial College）David Sanderson 教授和 Zhang Xing 博士等人的支持与帮助。特此向上述单位和个人表示诚挚的感谢。

成矿预测在成矿学领域中是个涉及面广而又热门的议题，局限于作者的知识结构，不可能面面俱到，所得出的认识难免挂一漏万，敬请读者批评指正。

作者

2007 年 4 月

目 次

序

前 言

第一章 剪切带型金矿构造成矿概论	(1)
第一节 剪切带韧-脆性转换域控矿作用	(2)
一、脆-韧性变形时空转换域	(2)
二、脆-韧性转换控矿构造样式	(4)
三、韧-脆性转换成矿动力学	(5)
第二节 构造应力场转换与成矿	(8)
一、构造应力场转换的成矿地球化学响应	(8)
二、构造应力场转换与构造-流体脉动界面成矿	(8)
三、构造应力场与温度场耦合-转换成矿效应	(9)
四、控矿断裂构造演化与成矿系统形成与保存	(10)
第三节 含金剪切带临界成矿效应	(10)
一、含矿裂隙系统嵌套分形结构与临界分维	(10)
二、矿床(脉)群聚分形分布	(11)
三、含矿裂隙/脉体系统分形生长动力学	(12)
第四节 成矿物理化学参量及物化探异常临界转换与成矿预测	(13)
一、成矿物理化学参量临界转换	(13)
二、物化探异常临界转换与成矿预测	(13)
第二章 区域成矿地质背景	(15)
第一节 区域岩石建造与成矿物质来源	(15)
一、区域岩石建造	(15)
二、地质体含金性的地质-地球化学评价	(20)
第二节 区域构造格架及其控矿作用	(26)
一、区域褶皱构造	(26)
二、区域断裂构造	(26)
三、区域构造控矿作用	(27)
第三章 矿床地质-地球化学特征及成因模式	(28)
第一节 矿区地质	(28)
一、赋矿岩石建造	(28)
二、控矿构造时空结构	(32)
第二节 矿床地质特征	(44)
一、矿体地质特征	(44)
二、矿石类型及组成	(52)

三、矿物学特征	(57)
四、围岩地质及蚀变类型	(68)
五、成矿期成矿阶段的划分	(70)
第三节 矿床地球化学特征	(73)
一、流体包裹体	(73)
二、同位素地球化学	(95)
三、元素地球化学	(98)
四、成矿年代学	(101)
第四节 成矿条件及成因模式	(106)
一、成矿条件分析	(106)
二、矿床成因模式	(108)
第四章 地质异常时空结构分析	(111)
第一节 地球物理场	(111)
一、区域地球物理特征	(111)
二、矿区地球物理测量	(112)
第二节 地球化学场时空结构	(116)
一、1:20万区域地球化学场	(116)
二、1:1万矿区土壤测量	(119)
三、1:1万矿区壤中气汞测量	(119)
四、原生地球化学场时空结构	(122)
五、成矿元素统计分形	(130)
第三节 遥感地质异常	(140)
一、地质遥感解译	(140)
二、成矿预测	(141)
第五章 成矿动力学数值模拟	(144)
第一节 区域断裂构造临界转换成矿效应	(144)
一、断裂分形分布	(145)
二、裂隙网络变形-流动耦合数值模拟	(146)
三、断裂构造临界分形成矿效应	(147)
第二节 控矿构造应力场有限元数值模拟	(148)
一、平面应力场模拟	(148)
二、剖面应力场模拟	(154)
三、三维应力场模拟	(155)
四、控矿构造应力场转换与成矿作用	(157)
第三节 流体-岩石化学反应	(159)
一、质量平衡计算原理	(159)
二、元素聚-散与体积变化规律	(160)
第四节 成矿动力学模型	(162)

一、前印支期成矿物质初步富集	(162)
二、印支期构造应力场转换与大规模成矿作用	(163)
三、燕山期成矿物质叠加富集	(164)
第六章 矿产预测及工程验证	(165)
第一节 找矿标志与预测模型	(165)
一、控矿因素与找矿标志	(165)
二、成矿预测模型	(169)
第二节 隐伏矿体定位预测与工程验证	(170)
一、成矿预测及探矿工程设计	(170)
二、工程验证结果与新增资源量估算	(171)
第三节 区域成矿意义及矿产资源潜力评价	(175)
一、区域矿产时空分布规律	(175)
二、矿产资源潜力评价	(175)
第七章 结 语	(177)
一、构造动力体制临界转换成矿	(177)
二、矿区及外围找矿成效显著	(179)
三、抱伦金矿床成矿特色	(179)
四、区域成矿学及找矿意义	(180)
参考文献	(183)
图 版	

Contents

Preface

Foreword

Chapter 1 Structure Metallogenetic Generality of Shear Zone-hosted Gold Deposits	(1)
1.1 Ductile-Brittle Transitions Constraint on Ore Deposits thin Shear Zone	(2)
1.1.1 Temporal and Spatial Transitions of Ductile-brittle Deformation	(2)
1.1.2 Ore-controlling Structural Patterns of Ductile-brittle Deformation	(4)
1.1.3 Ore-forming Dynamics of Ductile-brittle Deformation	(5)
1.2 Tectonic Stress Field Transformation and Metallogeny	(8)
1.2.1 Metallogenic Geochemistry Response to Tectonic Stress Field Transformations	(8)
1.2.2 Tectonic Stress Field Transformations and Structure-fluid Pulse Interface Metallogeny	(8)
1.2.3 Metallogenic Effect of Coupling-transformations of Tectonic Stress Field and Temperature Field ...	(9)
1.2.4 Evolution of Ore-controlling Faults and Formation and Conservation of Metallogenic System	(10)
1.3 Critical Metallogenic Effect in Ore-hosting Shear Zone	(10)
1.3.1 Nesting Fractal and Critical Fractal Dimensions of Ore-hosting Fracture System	(10)
1.3.2 Fractal Distributions of Ore (Lodes) Clustering	(11)
1.3.3 Fractal Development Dynamics of Ore-hosting Fractures or Vein System	(12)
1.4 Physical-chemical Anomaly Critical Transformations Metallogeny and Prognosis	(13)
1.4.1 Critical Transformations of Physical-chemical Conditions	(13)
1.4.2 Critical Transformations of Physical-chemical Anomaly and Metallogenic Prognosis	(13)
Chapter 2 Regional Geology	(15)
2.1 Regional Rock Formations and the Source of Ore-forming Materials	(15)
2.1.1 Regional Rock Formations	(15)
2.1.2 Geological and Geochemical Evaluation of Ore-forming Materials in Geological Bodies	(20)
2.2 Regional Structural Framework and its Contribution to Gold Metallization	(26)
2.2.1 Regional Folds	(26)
2.2.2 Regional Faults	(26)
2.2.3 Ore-controlling Effects of Regional Structures	(27)
Chapter 3 Ore Geology and Geochemistry and Metallogenic Model	(28)
3.1 Ore District Geology	(28)
3.1.1 Ore-hosting Rocks	(28)
3.1.2 Temporal and Spatial Framework of Ore-controlling Structures	(32)
3.2 Ore Geology	(44)
3.2.1 Ore Body Geology	(44)

3.2.2	Ore Types and Compositions	(52)
3.2.3	Ore-related Mineral Characteristics	(57)
3.2.4	Wall Rock and Alterations	(68)
3.2.5	Metallogenic Phases	(70)
3.3	Ore Deposit Geochemistry	(73)
3.3.1	Fluid Inclusion	(73)
3.3.2	Isotopic Geology	(95)
3.3.3	Elemental Geochemistry	(98)
3.3.4	Metallogenic Chronology	(101)
3.4	Metallogenic Conditions and Model	(106)
3.4.1	Metallogenic Conditions	(106)
3.4.2	Metallogenic Model	(108)
Chapter 4	Temporal and Spatial Characteristics of Geological Anomalies	(111)
4.1	Geophysical Field	(111)
4.1.1	Regional Geophysical Characteristics	(111)
4.1.2	Geophysical Measurements in Mining Area	(112)
4.2	Temporal and Spatial Frame of Geochemical Field	(116)
4.2.1	1 : 200 000 Regional Geochemical Field	(116)
4.2.2	1 : 10 000 Soil Survey in Mining Area	(119)
4.2.3	1 : 10 000 Soil mercury-vapour Measurement in Mining Area	(119)
4.2.4	Temporal and Spatial Frame of Primary Geochemical Field	(122)
4.2.5	Statistical Fractal of Ore-related Elements	(130)
4.3	Remote Sensing Geology Anomaly	(140)
4.3.1	Remote Sensing Geology Interpretations	(140)
4.3.2	Metallogenic Prediction	(141)
Chapter 5	Numerical Simulation of Metallogenic Dynamics	(144)
5.1	Critical Transform Metallogenic Effect of Regional Faults	(144)
5.1.1	Fractal Distributions of Faults	(145)
5.1.2	Deformation-flow Coupling Numerical Simulation of Fracture Networks	(146)
5.1.3	Critical Fractal Metallogenic Effect of Faults	(147)
5.2	Finite Element Numerical Simulation of Controlling Structure Stress Field	(148)
5.2.1	Numerical Simulation of Planar Stress Field	(148)
5.2.2	Numerical Simulation of Sectional Stress Field	(154)
5.2.3	Numerical Simulation of Three Dimensional Stress Field	(155)
5.2.4	Stress Field Transformations and the Metallogenic Effect of Ore-controlling Structures	(157)
5.3	Fluid-rock Interaction	(159)
5.3.1	Principles of Mass Balance Calculation	(159)

5.3.2	Element Assemble-disperse and Volume Variations	(160)
5.4	Metallogenic Dynamic Model	(162)
5.4.1	Preliminary Enrichment of Ore Materials Before Indosinian Period	(162)
5.4.2	Stress Field Transformations and Large Scale Ore Precipitation in Indosinian Period	(163)
5.4.3	Ore Materials Superimposition and Enrichment in Yanshanian	(164)
Chapter 6	Metallogenic Prediction and Engineer Verification	(165)
6.1	Ore Prospecting Signs and Prediction Model	(165)
6.1.1	Ore-controlling Factors and Ore Prospecting Signs	(165)
6.1.2	Metallogenic Prospecting Model	(169)
6.2	Location Forecasting of Concealed Orebody and Engineer Verification	(170)
6.2.1	Metallogenic Prospecting and Ore Prospecting Engineer Design	(170)
6.2.2	Engineer Verification and Estimation of New Addition Resources	(171)
6.3	Regional Metallogenic Importance and Evaluation of Mineral Resource Potential	(175)
6.3.1	Temporal and Spatial Distributions of Regional Mineral Resources	(175)
6.3.2	Evaluation of Mineral Resources Potential	(175)
Chapter 7	Conclusions	(177)
7.1	Tectonic Mechanism Critical Transformation and Metallogeny	(177)
7.2	Obvious Ore Prospecting in and Around Mining Area	(179)
7.3	Special Metallogenic Characteristics of Baolun Gold Deposit	(179)
7.4	Regional Metallogeny and Ore Prospecting Importance	(180)
References		(183)
Plates		