矿 床 地 质
2002 年 MINERAL DEPOSITS 第 21 卷 增刊

矿产资源预测评价的理论和实践*

——以西南“三江”研究为例

Theory and Practice of Mineral Resource Prognosis and Evaluation: from Research on “Sanjiang” Region，West-eastern China

潘桂棠 徐 强 王立全

(中国地质调查局成都地矿研究所，四川 成都 610082)

Pan Guitang, Xu Qiang and Wang Liquan

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

摘 要 本文以“九五”期间，在“西南三江地区重要成矿带的地质构造演化与金属矿产成矿规律和远景预测评价”研究过程，在当前指导成矿预测与评价的各种成矿理论中，选择从成矿系统论 、成矿过程论和成矿转换论角度对三江地区进行了探索和实践，并简要列举了“三江”在矿产资源预测评价攻关研究取得的重要进展。

关键词 矿产资源 预测评价 理论与实践 西南三江

20 世纪社会与经济持续性发展对固体矿产资源的需求强力增长，极大地促进了矿业地质勘查工作的发展。21 世纪，又迈入资源、环境与人类协调发展的新阶段。社会的发展离不开资源，国家投资的资源勘查部署方式的变化、勘查重点区选择的变化，矿产资源预测与评价的方法理论相应也面临根本性的发展变化。许多学者曾总结：矿产勘查过程从 19 世纪到现在，经历了“找矿人”勘探、传统找矿、理论勘查和高新技术运用的科学找矿阶段。矿产资源预测与评价实质上贯穿了矿产勘查的全过程。研究区域成矿规律，对一定地区的矿产资源存在的可能性、资源数量、质量及经济价值进行科学的预测与评价，既是矿产资源勘查的主要任务，也是矿床地质、区域成矿学研究的重要组成部分。

矿产资源预测与评价的发展是与矿业勘查过程密不可分。早期的矿产预测，往往是根据简单的地表露头地质标志，进行矿产评价。自法国学者郎内提出“成矿规律”一词以来，随着理论找矿的发展，成矿预测在 20 世纪 50—60 年代得到蓬勃发展，如毕利宾创建的“构造-建造”成矿预测分析法被原苏联地质工作者奉为经典；斯米尔诺夫对矿床分带性规律的研究，发现了外贝加尔东锡矿带。70 年代以来，随着板块构造学的兴起、发展和航天、航空、遥感技术、地球物理、地球化学等找矿技术的广泛、成熟地应用，以及成矿预测、科学找矿的兴起，矿产资源预测评价进入了一个全新阶段。近几年来，矿产资源预测评价进入了一个信息更加综合、技术飞快更新的新时期，主要表现在有机地将当代成矿理论与现代高新综合勘查技术结合起来，体现在将传统的定量数值科学方法与计算机 GIS 图形图像信息可视化技术结合起来。三江地区的成矿规律研究、矿产资源预测与评价，正是将板块构造学的多岛弧-盆系理论与成矿系统论、过程论相结合，定量数值科学方法与计算机 GIS 结合起来进行了有益的实践。

*国土资源部重点攻关项目（编号 95-02-001）部分成果。

第一作者简介 潘桂棠，男，1941 年生，博士生导师，研究员，从事大地构造及区域成矿学研究。

1　矿产资源预测与评价的基本思路

在开展西南三江地区重要成矿带的地质构造演化与金属矿产成矿规律和远景预测研究中，明确提出以特提斯多岛弧盆系统时空演化和碰撞后造山带形成过程为基点，以不同阶段的洋陆转换、盆山转换过程中形成的构造环境与成矿作用过程的耦合关系为主线，以大地构造格架（成矿单元）细结构研究为重点，综合地质、地球化学、地球物理等多学科资料、数据和成果，对三江地区大型、特大型矿床的成矿类型、成矿地质条件及成矿规律提出认识，为成矿预测、优选靶区、资源评价提供科学依据。

在指导思想和研究思路上，重点抓三江造山带的洋-陆、盆-山、壳-幔转换，弧盆相间的多岛弧盆系统，及碰撞造山效应与综合成矿理论等重大的基础地质和矿产地质关键问题，实施“主攻金沙江结合带，深化义敦岛弧带，开拓昌都-兰坪盆地”的战略，重点开展上述三大成矿带的大型、超大型矿床的成矿规律，成矿预测和靶区评价工作。地质构造演化、陆内造山过程研究要紧紧围绕重点成矿区带开展基础地质工作，在地球化学分区研究中，从壳幔系统多层圈相互作用，探索跨单元大循环流体运动的成矿作用。加强对德钦-维西火山弧和义敦岛弧带的研究，为成矿区带的成矿地质背景成矿预测与评价提出科学依据。

预测评价的程序是，依据研究区域成矿地质条件，对重要成矿区（带）充分利用地、物、化、遥等新技术、新方法，从区（带）中圈定和优选出一批找矿靶区；对重点靶区采用新技术方法进行快速而有效的评价，确定具有大、中型远景规律的普查评价基地；对重要矿床或矿化区进行成矿模式研究，建立评价准则与找矿标志，以指导矿带找矿工作；进行优势矿产开发条件评价研究，促进资源开发和产业成长。

多岛弧盆系及其成矿系统是中国地质学家长期在中国西部工作实践探索的结果。西南三江地区在晚古生代至中生代时，是西部古特提斯大洋向北西俯冲导生的，以日本群岛-台湾-菲律宾从大陆裂离方式，由他念他翁残余弧为前峰弧，昌都、中咱-中甸等陆块，从泛华夏大陆（含扬子）西缘裂离，形成的多岛弧盆系统。多个弧后洋盆、复杂的弧-弧碰撞、弧-陆碰撞演化的构造活动地区。全球三大类型的火山-岩浆弧：洋内初始岛弧（相当于马里亚纳弧型）、岛弧（相当于日本-琉球群岛岛弧）和陆缘火山弧（安第斯型）在三江地区都有不同程度的发育。这些弧后洋盆及其俯冲消减杂岩带与火山弧带都是三江地区的重要成矿带。洋内初始弧发育于金沙江带的竹笆龙-奔子栏一带，德钦羊拉里农块状硫化物铜矿即赋存于该火山弧带上，其成因类型与火山喷流（气）有关。而岛弧发育和保存最好的是甘孜-理塘洋俯冲形成的昌台-乡城岛弧带。该岛弧带的特点是发育弧间裂谷带，呷村式黑矿型贪金富银铅锌矿床如呷村、呷依穹、胜莫隆等矿床，孔马寺汞矿床即形成该弧间裂谷带中的封闭、半封闭盆地中。与碰撞过程及后碰撞过程的深成岩浆作用有关矿产有斑岩矿型钨、锡、金多金属矿，如中甸格咱、红山斑岩铜矿和亚扎多金矿、夏塞银矿等。展布于昌都-思茅地块东西两侧的江达-维西-绿春火弧带和杂多-景洪火弧带，其共同特点是晚三叠世的滞后型弧火山活动强烈及碰撞后裂谷作用发育成矿作用。江达-维西-绿春火山弧带主要是铁、铜、钼、金和铅锌等矿床；杂多-景洪火山弧带上则以铜、铅锌为主，这些都是多岛弧盆系形成阶段与岩浆活动和沉积的作用密切相关的矿床。上述成矿地质背景和成矿类型等确定为“三江”地区矿产资源预测评价奠定了重要的基础（潘桂棠，1997；2000）。

2　矿产资源预测评价的理论依据

2.1　成矿系统论

成矿系统是在特定的大地构造时空结构系统中，成矿物质由源区以弥散或矿液甚至矿浆状态在一定部位形成的工业矿床的作用过程，并和特定的地质要素和地质作用产物构成的密不可分的有机整体。

矿床学家将成矿系统分为成矿流体系统（浅地表流体系，变质流体系，深侵位岩浆热流体系）和控矿环境定位系统（侵位系统、构造系统、围岩层序系统）。而矿床的形成过程是两大系统之间进行物质-能量交换过程。矿床的定位取决于体系与环境，体系内部各要素之间、外部控矿环境之间耦合程度，而且取决

于定位系统时空结构随时间变化的控矿要素主次、层次、地化场、能量场和应力场的转换制约（翟裕生，1993；1998；陈毓川，1999；涂光炽，1989；胡云中等，1998；1999）。

构造体制控制了成矿系统，成矿系统中特定矿床类型反映了大地构造环境的时空属性。成矿演化是区域构造演化的组成部分，是构造-岩浆事件或构造盆地形成的一个特殊地质系统。

动态成矿作用分析基础是构造成矿系统的动力学分析，不同的构造体制形成不同的成矿系统。

拉张伸展动力成矿作用：有大陆裂谷、洋脊、弧后盆地、碰撞后裂谷盆地、变质核、剥离断层等不同构造环境的成矿作用。如喷流沉积块状硫化物矿床的成矿系统。

汇聚挤压动力成矿作用，有逆推带、前陆盆地、压性岛弧带、韧性剪切带、弧-弧碰撞带、弧-陆碰撞带等不同构造环境的成矿作用。

走滑剪切动力成矿作用，有走滑拉分盆地、隆起高点、雁列带、走滑断层等不同构造环境的成矿作用。

成矿作用与大地构造体制时空结构的统一性是进行成矿条件分析和成矿规律研究的前提和成矿系统论的基本点。

2.2 成矿演化过程论

现代成矿学的显著特点是强调成矿作用的动态演化过程。将各种类型的工业矿床看成是一定的大地构造演化过程的特定的成矿构造环境中形成的特殊地质体。就如人体中的癌细胞体是一定的生命过程中形成相类似。矿床演变与生物演化之间的相似性，都是从早期的变化不多的形态，演变成晚期的类型繁多和更为独特的形态。演化是单向的、不可逆的、非线性的。成矿要有热源、水源、矿源。更要考虑演化过程中构造成矿系统的类型、性质及环境。

动态成矿作用分析的关键是对构造成矿系统作时空结构演化分析。

成矿空间分析表明不同尺度、不同性质、不同类型的构造单元具有不同的成矿地质背景和成矿构造环境，按不同层次不同方式的成矿作用过程形成各具特色的不同矿床类型。

成矿时间分析表明，成矿演化与大地构造演化密切相关。笔者的成矿观点是大地构造演化过程的成矿过程论。成矿阶段的划分应与地构造演化相对应的。

洋-陆转换阶段，三江多岛弧盆系统的形成有一定的成矿带和成矿类型、特点，赋于一定的构造环境。以前陆盆地形成为标志的盆山转换阶段，也有一定的成矿类型、特点、赋于一定的构造环境。新生代早期印度板块的俯冲碰撞导致三江地区的走滑汇聚造山过程，既有受控于壳幔转换的成矿流体源，又有伴随含矿流体的重新迁移、聚集和定位。

三江地区的晚古生代以来经历三次大的构造体制转换，其中许多大型、超大型矿床常具有多成因、多来源、多期次的成矿作用的叠加或改造，形成多种元素组合共生的特点。如玉龙铜矿床中产于砂页岩和灰岩两种不同岩相转换界面上的似层状矿体和斑岩矿体，分别是晚三叠世同沉积期海底喷流成矿作用和喜马拉雅早期中酸性岩浆的成矿作用的叠加产物。矿床具有似层状矿体，细脉侵染状（斑岩），接触带环状矿体，远接触带碳酸盐岩中的脉状，似层状砂页岩中的层状 Cu 矿化体等“五位一体”的矿化模式（杜光树，1997），反映了矿床的不同成因阶段与矿体形态变化过程。

成矿物质和流体的来源，成矿组分的富集和离散，成矿的温、压和深度条件，成矿年代等成矿信息的获取，结合成矿地质背景和控矿条件，从而可以认识和再造矿床形成的过程。

不少层控矿床有 2 个或多个阶段，早期同生沉积（热水沉积、火山-热液喷流作用）成矿，晚期受岩浆、热液或（和）构造作用叠加改造，使矿质进一步富集，且结构、产状复杂化，都反映矿床的演化过程。

2.3 成矿转换论

不同的成矿系统，不同的成矿作用过程形成的成因类型可以多种多样，然而成矿作用发生和定位大体都是出现在构造变形强弱转变、物理-化学条件或岩性-岩相的转换区带，甚至在特定的转换界面之中，其根本原因是在矿床定位的三维空间结构是有限的，物质-能量发生强烈交换的成矿作用在转换带最集中。

不同时空尺度的大地构造时空结构单位决定了不同时空尺度的成矿系统。

三江构造成矿带是晚古生代-中生代早期特提斯大洋岩石圈构造体制以多岛弧盆系的形成到弧后盆地

萎缩、弧-弧、弧-陆碰撞为标志，实现了向大陆岩石圈构造体制的时空结构转换，并继而从中生代盆-山转换到新生代陆内走滑汇聚造山。三次不同的构造体制的演变叠加转换，相应三次不同成矿期形成了不同性质的成矿要素和子系统。成矿结构的转换是形成如此之多不同类型的大型-超大型矿床的根本原因。显然这些大型、超大型矿床成矿的空间位置都是在不同构造体制时空结构叠加的转换区带。即不同性质的构造成矿单元（岛弧、盆地、碰撞带）的边缘部位或异相转换带（或转换界面）。

不整合界面（构造体制时间结构转换面）之下的高水位沉积体系域和不整合界面上以碳酸盐岩的低水位沉积体系域，以及海侵体系域与高水位体系之间的凝缩层都是有色金属的主要赋矿层位。而这些含矿层正是不同层位的转换界面。夕卡岩型矿床本身主要是岩浆岩与围岩接触带（也即是转换界面）。双峰式火山岩浆活动有关的块状硫化物矿床，其赋矿层位正是从基性玄武岩向酸性流纹岩转换的转换界面控制。韧性剪切带控制的金矿往往脆韧性转换部位富集成矿。

转换带成矿、转换界面控矿，这一规律对于成矿预测与评价的方法论是很重要的。

3　矿产资源预测与评价实例

紧密结合“三江”项目提出的任务，选择不同成矿类型进行深入解剖。揭示成矿背景；查明成矿控制因素、成矿机理；确定矿床类型；建立成矿模式；提出找矿模型；应用 GIS 技术进行成矿预测后，提交找矿前景比较确切，有可能突破的找矿远景区。

成矿预测按照预测区域的大小可分为区域成矿预测和矿体定位预测，区域成矿预测又根据比例尺的不同，预测的重点、预测的范围和预测的详细程度不尽相同。基于 1∶100 万或 1∶20 万地质调查与研究资料的成矿预测重点在成矿地质环境和圈定成矿有利地带。

三江地区由于各个工作区工作程度的差异，资料掌握程度的不同，对其进行的资源预测评价达到的要求有所不同。在义敦岛弧带由于工作程度高，进行资源评价和预测的理论方法和手段比较齐全，资料和数据的精度可以达到 1∶20 万，建立了岛弧火岩型块状硫化物矿床预测模型，及各种元素金属矿床预测模型，开发了基于 GIS 的智能成矿预测评价的 IPS 系统，分别提出了斑岩型 Cu 矿，夕卡岩型铜矿，浅成低温热液 Au、Ag、Hg、Sn、Ag 矿及矿床预测评价区块；兰坪盆地的资源评价和预测方法和手段比较齐全，同时更多地考虑了矿床的成矿模式；而在金沙江结合带主要依靠成矿系统、成矿地质构造条件分析、成矿类型厘定和重点地区的磁法、电法手段，地质资料和其他数据基本能够达到 1∶50 万，预测评价了鲁春、布研拉查 2 处大型 Cu 矿，4 处中型矿床，厘定了 3 片矿集区和 3 个矿化远景区；昌都盆地的资源评价则是在成矿系统研究基础上，划分成矿带（亚带）、矿集区及高强地球化学异常区、带，厘定 10 个矿床类型，提出了 6 个找矿预测区和 5 个矿床靶区。所以，三江各个地区的资源预测评价水平是有所区别的。

参　考　文　献

陈毓川, 朱裕生等. 1994. 中国大型矿床的基本特征和勘查现状. 中国地质, (1): 22~26.

陈毓川主编. 1999. 中国主要成矿带矿产资源远景评价. 北京: 地质出版社. 1~536.

胡云中, 候增谦. 1998. 当代主要金属矿产资源勘查与研究的发展态势. 地质科技管理, (1): 1~7.

杜光树, 黄卫. 1997. 西藏玉龙铜矿床喷流—斑岩二期成矿论初探. 西藏地质, (1): 88~96.

潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社. 28~101.

潘桂棠, 李定谋, 李兴振, 等. 2000. 西南三江地区贵金属、有色金属成矿规律和成矿模式. 陈毓川主编, 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京: 地质出版社. 540~548.

翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 1997. 大型构造与超大型矿床. 北京: 地质出版社.

翟裕生. 1998. 成矿系统的结构框架和基本类型.中国科学院地球化学研究所编: 资源环境与可持续发展. 北京: 科学出版社. 1~429

翟裕生等. 1999. 区域成矿学. 北京: 地质出版社. 1~261.

涂光炽. 1989. 超大型矿床的找寻和理论研究. 黄金地质科技, (2): 1~2.