

国家自然科学基金

教育部博士点基金

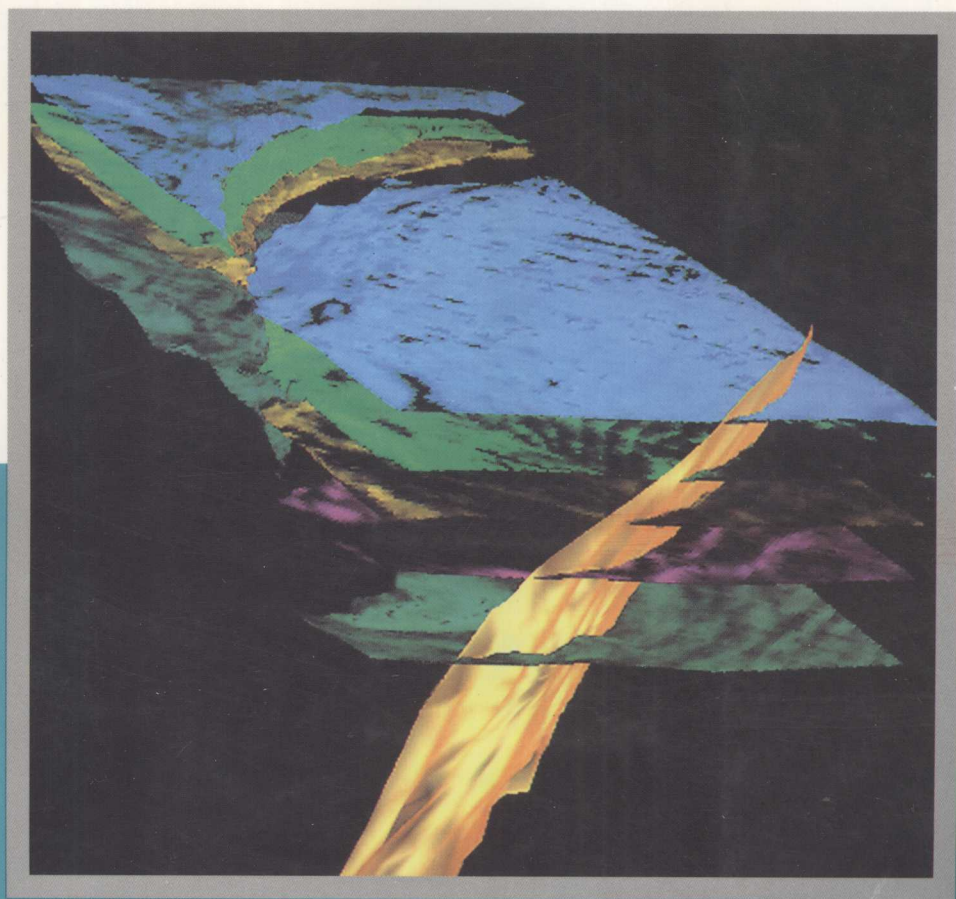
资助项目

国土资源部百名科技人才基金

隐伏矿体定位预测方法

——以脉状金矿为例

张均 著



地质出版社

国家自然科学基金

教育部博士点基金

资助项目

国土资源部百名科技人才基金

隐伏矿体定位预测方法

——以脉状金矿为例

张 均 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以热液脉状金矿为例,围绕隐伏矿体定位预测这一当代成矿预测学前沿课题进行了理论、方法的研究与探索。全书由“前言”、“矿体空间定位机理与定位规律的厘定与表征”、“多元预测信息的有效提取与优化”、“隐伏矿体定位预测的组合预测方法”和“总结与展望”等五部分构成。书中重点探讨了热液脉状金矿矿体空间定位机理的热力学体制和动力学机制,揭示了热液脉状金矿成矿系统的演化、协同及变化规律和成矿场时空结构特征,初步提出了矿体空间定位规律的厘定与表征方法和矿体空间定位产状模式,探索和建立了多元预测信息有效提取与优化的方法组合及矿体定位预测的组合方法体系,并结合实例剖析验证了此方法的先进性、实用性和可操作性。

本书所涉及的隐伏矿体定位预测中的三大关键科学问题及其解决途径,对众多生产矿山的新一轮预测找矿工作具有普遍的适用性和借鉴性,可供广大地质科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

隐伏矿体定位预测方法:以脉状金矿为例/张均著.-北京:地质出版社,1999.10

ISBN 7-116-02839-0

I. 隐… II. 张… III. ①隐矿床-定位法②脉金矿床:隐伏矿床-定位法 IV. P624

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30341 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白 铁 江晓庆 赵俊磊

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:8.375 字数:205000

1999 年 10 月北京第一版·1999 年 10 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:20.00 元

ISBN 7-116-02839-0

P·2030

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

恩格斯说：“一门科学的科学性，就在于其预测未知的准确性。”当前，随着找矿主体对象的转变，隐伏矿预测问题已成为当代成矿学和成矿预测学的科学前沿和研究重点，其预测的准确度和可靠性已成为衡量和反映人类对隐伏矿认识能力和预测水平的重要标志。尤其是对资源开发利用率较高的工业发达国家和地区，隐伏矿预测问题实质上已转化成为能否利用科技进步为工业体系和资源经济可持续发展提供技术支撑和资源保证的重大社会经济问题。

因此，国内外矿产勘查界对隐伏矿定位预测的理论与方法研究都予以极大的关注与重视。例如，西方国家于1992年创刊的《不可再生资源》将“如何有效提高预测成果的准确性和可靠性”作为研讨的主题之一；1993年，美国国家研究委员会提出的《固体地球科学与社会》关于优先研究主题中明确提出“研制确定非再生资源位置和范围的动力学方法、物理学方法和化学方法”，并指出“正确描述和模拟成矿过程，并提高预测可能位置的能力，应是21世纪地学发展的主要方向之一”。1993年4月，在有31个国家和地区参加的美国“丹佛会议”上，众多学者形成的共识是：“今后矿产预测的精度需进一步提高，深度将进一步加大，未来矿产探采的主体对象亦将转向埋深较大的隐伏矿。而未来矿产勘查的成功率将取决于综合因素，首先是预测选区的准确性，这将很大程度上取决于各类矿床模型的研制、使用和完善，取决于成矿理论和预测方法的创新与发展。”美国学者S. S. 亚当斯等(1993)以卡林型金矿为例，提出了隐伏矿预测的“资料—过程—准则”模型的思路与方法，导致了在已知矿带深部及外围找矿的重大突破。法国学者C. Castaing等(1994)开始研讨流变不均一性和力学不变性在脉状矿床定位中的作用。原苏联则在大力发展成矿建造分析方法进行区域成矿远景预测评价的同时，于90年代初先后创造性地提出了“系统勘查”、“局部预测”、“立体填图”、“目标预测”和“预测普查组合”等新思路和新方法。俄罗斯学者奥斯特洛夫斯基等(1993)提出了不受专家先验论影响，以自组织系统处理各种资料，提取有效信息的“目的预测”新技术，导致在多年使用常规找矿方法找矿效果欠佳的矿化勘查区取得了找矿新突破。对比分析可以发现，尽管其侧重点有所不同，但其共性特征是在预测对象、预测尺度和预测精度上都显示出以局部化、具体化、精细化、精确化的大比例尺隐伏矿体定位预测的发展趋向。

国内近10年来，在成矿理论和预测理论研究方面亦取得了长足的进展。成矿系列理论、“三源”成矿理论、科学找矿理论、地质异常理论和综合信息预测理论等已被广泛接受和广为应用。特别是以现代成矿理论和计算技术为支撑的定量预测理论更是取得了较为显著的进展。例如赵鹏大的“科学找矿与地质异常理论”，王世称的“综合信息预测理论”，朱章森的“无模型求异预测理论”等研究即可大致反映我国学者在这一领域为适应新一轮矿产勘查形势需要而进行的卓有成效的探索与实践。在脉状金矿隐伏矿体定位预测方面，范永香和张均等(1991)提出了应用成矿场理论和矿化时空结构分析方法进行隐伏矿体定位预

测的基本思路,认为成矿场是成矿物质存在形式及本质属性的综合体现,工业矿体常常产于成矿场的某些特定部位,其空间定位与场结构变异有密切的内在成生联系和对应匹配关系,具有相应的时空构型和特征参数。分析、厘定成矿场的时空结构特征,可以有效地进行找矿靶区优选和隐伏矿体定位预测。

从总体上看,我国隐伏矿定位预测研究的理论进展明显领先于方法进展。由于缺乏与预测理论相匹配的科学预测方法,致使理论与找矿实践彼此脱节,在成果转化方面,成效不甚明显。尤其是在利用高新技术方法和组合预测方法提取和优化多元信息、强化微弱信息、揭示和利用隐蔽信息和深层次信息方面,在有效提高预测成果可靠性和准确性方面,在利用定量预测方法和现代高新技术实现找矿突破而取得找矿实效方面都尚存在着明显的不足,使得数学地质方法和高新技术方法的应用长期处于“锦上添花”的“点缀”地位和“先进与实用”的两难状态。这种预测方法研究滞后于预测理论研究的现状,严重地制约着研究成果的转化与应用,导致了预测成果务虚多,务实少,因成果验证成功率低,风险大而被大量束之高阁的状况。这些都使得以局部化、具体化、精细化、精确化为特征的隐伏矿体定位预测研究不仅十分必要和迫切,而且具有极为重要的科学价值和现实意义。

“工欲善其事,必先利其器”。隐伏矿体定位预测是一项兼具科研与生产双重性质的高难度、强探索、大风险的成矿预测工作。在进行隐伏矿体定位预测的过程中,我们将面临大量的、复杂的科学问题;但最核心的关键科学问题是“机理、规律、信息、方法”的探索与研究,即:要想有效提高隐伏矿体定位预测的可靠性和准确性,必须进行预测思路、预测方法的优化和创新。基于上述认识,按照“有限目标、重点深入、揭示规律、探索方法”的研究原则,笔者以研究基础较好,实用价值较大的热液脉状金矿(被认为是当今世界上经济价值最大的四类金属矿床之一,其它三类为斑岩型铜(钼)矿床,块状硫化物矿床和密西西比型铅锌矿床)为对象,进行了“隐伏矿体定位预测的组合预测方法”的探索与研究。其基本出发点和预期目标是针对隐伏矿体定位预测中的几个关键科学问题,探讨脉状金矿在成矿作用过程中矿体空间定位的热力学体制及动力学机制,矿体空间定位机理及定位规律的厘定与表征方法,多元预测信息的有效提取与优化方法,高精度预测模型与组合预测方法。进而依据脉状金矿成矿机理及定位规律的相似性,矿化结构、异常结构、信息结构的同型性,提出并构建隐伏矿体定位预测的方法体系,并结合实例剖析,验证其方法体系的先进性、实效性和普适性。

本项研究的主体思路是以赵鹏大院士提出的地质异常预测理论和组合创新概念为指导,按照地质异常致矿→构造物质组合控矿→物化探异常示矿→综合信息和组合方法找矿的研究思路,采用以结构分析方法为主导的“多重场(异常场、矿化场、构造物理化学场)结构分析+多参数矢量逼近”的组合预测方法,由局部致矿异常分析→矿致异常筛选→组合异常结构分析及其与矿体定位的空间耦合关系厘定→关键预测信息提取及高精度预测模型构建→多参数矢量逼近隐伏矿体定位预测。为验证所获认识及相关方法的有效性,笔者结合相关科研课题,在胶东地区的焦家、河东、灵山沟、金牛山、望儿山等金矿和黄陵地区的茅坪、石板溪金矿进行了以隐伏矿体定位预测为目的的科研实践,取得了较为显著的地质找矿效果和社会经济效益。研究工作先后得到原国家黄金局地质科研基金(93—35)、地矿行业科学基金(9523)、国家计委科技找矿专项(JG947110)、国家教委博士点基金(96049117)、国家自然科学基金(497721691)和国土资源部百名跨世纪科技人才基金

的资助。

科学源于实践而始于问题，并随着研究法所取得的成就而发展。尽管笔者围绕隐伏矿体定位预测这一前沿课题中的几个关键科学问题进行了初步的探索，在矿体空间定位机理及定位规律的厘定与表征，多元预测信息的有效提取与优化，高精度预测模型和隐伏矿体定位预测的组合预测方法体系构建等方面取得了一些初步认识，但远不能说上述问题已经解决。笔者通过上述研究所获得的切身感受是“科学有着永无止境的前沿”；科研也是一门“遗憾”的艺术。笔者在完成这部论著的过程中，才发现研究中尚存在着许多的不足，这也必将促使笔者在今后的研究工作中做更深入的思考和更细致的探索。同时，笔者也深知，要在如此有限的篇幅内构建系统的隐伏矿体定位预测方法体系，其难度是可想而知的。但之所以感到力有不逮而又勉为其难，其重要意义就在于，笔者认为要想高起点地开展此项研究工作，首先必须完整地明确和把握开展隐伏矿体定位预测所要探讨和解决的关键科学问题和构建具组合创新意义的方法体系框架。因为，任何系统框架的构建都会有助于激发人们的想像力、创造力和预见力。而关键科学问题的明晰和组合创新概念的形成将为我们深化隐伏矿体定位预测问题的研究提供一种崭新的思维方式和方法。正如美国未来学家阿尔温·托夫勒所说，“当代一系列重大突破常常不是来自孤立的单项技术，而是来自并列的几项技术或其组合”。

限于笔者的能力和水平，书中肯定存在诸多不足，敬请各位专家及同行批评指正。

作者
1999 年

目 录

前 言

第一章 隐伏矿体定位预测的方法学基础及方法论	(1)
第一节 大思路、小尺度、高精度——隐伏矿体定位预测的方法学基础.....	(1)
第二节 成矿分析——隐伏矿体定位预测的方法论.....	(2)
第三节 结构分析——隐伏矿体定位预测的有效途径.....	(3)
第四节 组合预测方法——隐伏矿体定位预测的新工具.....	(4)
第二章 矿体空间定位机理的热力学研究	(7)
第一节 温度冷却是矿质沉淀的最有效机制.....	(7)
第二节 压力减小引起矿物溶解度减小和矿质沉淀.....	(7)
第三节 水-岩交换反应对矿质沉淀具有重要意义	(8)
第四节 缓冲效应对矿质沉淀的制约作用.....	(8)
第五节 流体的混合作用可能是矿质聚集、沉淀的主要机理之一.....	(9)
第六节 脉状金矿成矿体系中的自组织现象初步研究.....	(9)
第七节 矿体空间定位机理的实例剖析	(10)
第三章 矿体空间定位机理的成矿动力学分析	(14)
第一节 矿体定位过程的构造动力学分析	(14)
第二节 矿体空间定位机理的成矿动力学分析	(17)
第三节 减压扩容控矿理论及其对矿体空间定位机制的初步解释	(21)
第四节 小结	(24)
第四章 控矿断裂的几何学和运动学分析	(26)
第一节 控矿断裂的几何学分析	(26)
第二节 控矿断裂的运动学分析	(30)
第三节 矿体空间定位规律的厘定与表征——实例剖析	(32)
第五章 成矿场矿化时空结构分析	(40)
第一节 成矿场矿化时空结构分析的要义	(40)
第二节 金矿化的时间结构分析	(40)
第三节 金矿化的空间结构分析	(45)
第六章 多元预测信息的有效提取与优化	(59)
第一节 引言	(59)
第二节 预测信息提取与优化的基本问题	(60)
第三节 预测信息的有效提取	(63)
第四节 预测信息的初步优化	(65)
第七章 高精度预测模型的初步构建	(70)

第一节	引言	(70)
第二节	基本思路	(70)
第三节	高精度预测模型的构建方法	(71)
第四节	脉状金矿隐伏矿体定位预测模型的初步构建	(74)
第五节	问题讨论	(78)
第八章	多参数矢量逼近预测法	(80)
第一节	应用远程扩散元素指示深部金矿化	(80)
第二节	以成矿指示元素的空间分带特征参数为找矿度量	(82)
第三节	以矿化元素组合特征参数接近矿化中心	(82)
第四节	应用近矿综合分带指标参数接近隐伏矿体	(84)
第五节	用分带指数等值线圈定深部金矿体(柱)	(85)
第六节	利用贯通矿物标型特征的垂向变化预测隐伏矿体	(86)
第九章	控矿构造几何预测法	(89)
第一节	引言	(89)
第二节	控矿断面几何形态和容矿空间的厘定	(89)
第三节	控矿断面几何形态模拟方法	(91)
第四节	应用实例简介	(91)
第十章	成矿构造物理化学场结构预测法	(94)
第一节	引言	(94)
第二节	成矿构造应力场结构分析	(94)
第三节	激电异常场结构分析	(97)
第四节	原生晕异常场结构分析	(99)
第五节	河东金矿成矿构造物理化学场结构分析	(101)
第六节	河东金矿深部及外围隐伏矿体定位预测	(104)
第十一章	全书总结与研究展望	(108)
第一节	全书总结	(108)
第二节	研究展望	(112)
致 谢		(114)
参考文献		(115)
英文摘要		(123)

CONTENTS

FOREWORD

1. METHODOLOGICAL BASIS AND METHODOLOGIES OF FORECASTING OF CONCEALED OREBODY LOCATION	(1)
1.1 Methodological Basis of Concealed Orebody Location Forecasting: Grand Scopes, Minor Scale, and High Precision	(1)
1.2 Methodologies of Concealed Orebody Location Forecasting: Metallogenic Analysis	(2)
1.3 Effective Routes of Concealed Orebody Location Forecasting: Structural Analysis	(3)
1.4 New Approaches of Concealed Orebody Location Forecasting: Combinatorial Forecasting	(7)
2. THERMODYNAMICAL STUDIES ON THE MECHANISM OF OREBODY SPACIAL LOCATION	(7)
2.1 Drop of Temperature Is the Most Effective Mechanism of Mineral's Depositing	(7)
2.2 Drop of Pressure Results in the Decrease of Mineral's Solubility and Finally the Mineral's Depositing	(7)
2.3 Water-Rock Exchange Reaction Contributes Heavily to Mineral's Depositing	(8)
2.4 Buffer Effect's Constrains on Mineral's Depositing	(8)
2.5 Fluid Mixture: Possibly One of the Main Mechanisms of Mineral's Concentration and Depositing	(9)
2.6 A Preliminary Study on Self-organization Phenomimum in Vein-like Gold Metallogenic System	(9)
2.7 Practical Example Analysis on Orebody's Spacial Location Mechanism	(10)
3. METALLOGENODYNAMICAL ANALYSIS ON MECHANISM OF OREBODY' S SPACIAL LOCATION	(14)
3.1 Structural-dynamic Analysis on Orebody's Location Process	(14)
3.2 Metallogenodynamical Analysis on Orebody's Location Mechanism	(17)
3.3 Ore-controlling Theory of Pressure-Drop and Space-Expansion and Its Preliminary Explanations on Orebody's Spacial Location Mechanism	(21)
3.4 Conclusion Remarks	(24)
4. GEOMETRICAL AND DYNAMICAL ANALYSIS ON ORE-CONTROLLING	

FRACTURES	(26)
4.1 Geometrical Analysis on Ore-controlling Fractures	(26)
4.2 Dynamical Analysis on Ore-controlling Fractures	(30)
4.3 A Practical Example Analysis: Determination and Manifestation of Orebody Spacial Location Regularities	(32)
5. TEMPORAL-SPACIAL STRUCTURE ANALYSIS OF MINERALIZATION IN METALLOGENIC FIELD	(40)
5.1 Significance of Temporal-spacial Structure Analysis of Mineralization in Metallogenic Field	(40)
5.2 Temporal Structure Analysis of Gold Mineralization	(40)
5.3 Spacial Structure Analysis of Gold Mineralization	(45)
6. EFFECTIVE EXTRACTION AND OPTIMIZATION OF MULTIVARIATE FORECASTING INFORMATION	(59)
6.1 Introduction	(59)
6.2 Foundamental Problems of Ferecasting Information's Extraction and Optimization	(60)
6.3 Effective Extraction of Forecasting Information	(63)
6.4 Preliminary Optimization of Forecasting Information	(65)
7. A PRIMARY CONSTRUCTION OF HIGH PRECISION FORECASTING MODEL	(70)
7.1 Introduction	(70)
7.2 Outlines of the Construction	(70)
7.3 Construction Methods of High Precision Forecasting Model	(71)
7.4 A Primary Construction of Location Forecasting Model of Vein-like Concealed Gold Drebody	(74)
7.5 Discussions	(78)
8. MULTIPARAMETER VECTOR APPROXIMATION FORECASTING METHOD	(80)
8.1 Using Long-distance Diffusive Elements to Indicate Deep Gold Mineralization	(80)
8.2 Using Spacial Zonation Characteristic Parameters of Metallogenic Indicator Elements As Measurement of Prospecting	(82)
8.3 Using Combinatorial Characteristic Parameters of Metallogenic Elements to Approximate Mineralization Center	(82)
8.4 Using Near-ore Comprehensive Zonation Parameters to Approximate Concealed Orebody	(84)
8.5 Using Zonation Parameter Contour to Enclose Deep Concealed Orebody (Ore Cloumn)	(85)
8.6 Using Vertical Variation of Going-through Mineral's Typomorphic	

Characteristics to Forecast Concealed Orebody (86)

9. ORE-CONTROLLING STRUCTURE’S GEOMETRIC FORECASTING METHOD
..... (89)

9.1 Introduction (89)

9.2 Geometric Shapes of Ore-controlling Section and Determination of
Ore-hosting Space (89)

9.3 Geometric Simulation of Ore-controlling Sections (91)

9.4 Introduction to Practical Examples (91)

10. METALLOGENIC TECTONO-PHYSICOCHEMICAL FIELD STRUCTURE
FORECASTING METHOD (94)

10.1 Introduction (94)

10.2 Structure Analysis of Metallogenic Tectonic Stress Field (94)

10.3 Structure Analysis of Induced Polarization Anomaly Field (97)

10.4 Structure Analysis of Primary Halo Anomaly Field (99)

10.5 Metallogenic Tectono-Physicochemical Field Structure Analysis of
Hedong Gold Deposit (101)

10.6 Concealed Orebody Location Forecasting in Deep and Periphery of
Hedong Gold Deposit (104)

11. AN OVERALL SUMMARY AND FUTURE RESEARCH (108)

11.1 An Overall Summary (108)

11.2 Future Research (112)

ACKNOWLEDGEMENT (114)

REFERENCES (115)

ABSTRACT IN ENGLISH (123)

第一章 隐伏矿体定位预测的方法学基础及方法论

第一节 大思路、小尺度、高精度——隐伏矿体定位预测的方法学基础

众所周知，新一轮矿产勘查工作仍将以已知的重要成矿区（带）为主要对象。而在这些研究程度较高的已知成矿区（带）内，要想取得新的找矿突破，就必须探索和运用新的观念和理论，采用新的技术和方法，取得新的信息和认识，形成新的思路和途径。因为，国内外一些地质找矿工作的重大突破，特别是一些大型、巨大型矿床的发现实例告诉我们，每一种新思路、新途径、新方法的应用，都可能导致矿产勘查在新的基础上再次开始，并常常意味着又一批新矿床被发现。

隐伏矿体定位预测是一项涉及面广、难度大、要求高的综合性研究工作。迄今，预测的思路和途径还不够成熟，预测的方法也在不断探索和完善之中。隐伏矿体定位预测的重要特点是大思路、小尺度、高精度。这应成为隐伏矿体定位预测方法研究的方法学基础。为此，开展隐伏矿体定位预测研究，要求树立“系统-整体观”、“时空-结构观”和“层次-对应观”。隐伏矿体定位预测作为一项极为复杂的思维活动，是一个具有综合性、多维性、动态性的思维过程。这种高级的理性思维活动贯穿于整个预测活动的始终。实践证明，隐伏矿预测的每一步都离不开理论思维的指导，有效而先进的地质思维途径与方法可扩大我们的思维视域，优化我们的思维导向。

唯物论的根本点，就是认识事物一定要从客观实际出发，而不能靠主观臆想。辩证法告诉我们应该如何抓住关键，认识事物的本质与发展的规律。毛泽东同志说：“‘实事’就是客观存在着的一切事物，‘是’就是事物的内部联系，即规律性，‘求’就是我们去研究。”实践证明，在新一轮矿产勘查工作中，仅有技术能力和处理信息的能力是远远不够的，计算机正在越来越多地为我们做这些事情。当今，某一领域的领先人物常常是既能够预见到趋势，探测出隐含的模式，研究出解决复杂问题的创新方法，又能保持吸取和解释日益增多的复杂信息的必要技能，并能跨学科汲取知识和提出问题。而那些仅有技术能力的勘查人员则只能重复过去的行为和思维方式，很少有新发现。显然，培育和训练导致预测成功的思维方式极为重要。

对此，国外一些著名矿产勘查学家都曾给予高度的重视和精辟的论述。S. 里克斯和 R. 亨利发表了“运用思维能力求得发现——你的头脑是否为成功勘查进行了训练？”的著名演讲，指出勘查是注重实效和创造性的一种奇妙结合。当代最成功的勘查地质学家之一——R. 伍德尔近来强调指出：“勘查的成功特别取决于两种技能：观察和解释。勘查，不管是老式的找矿还是现代科学勘查，都得靠看，用各种可能得到的手段去‘看’。有的人看是看

了,但没有看到,或者也看到了,但不了解或者不理解观察结果的意义,即缺乏解释技能。矿床发现者可以是首次看到找矿线索的人,但更可能是别人看到的他也看到了,而别人没有想到的他却想到了。”华莱士·普特曾指出:“想像力是成功的找油工作者不可缺少的品格。……发现必须仰赖我们思想上的形象化——想像力。”帕克·迪基说:“我们一般用旧思想在新地方发现石油,有时也用新思想在老地方发现石油,而很少用旧思想在老地方发现大量石油。过去我们不止一次认为石油找完了,实际上只是我们的思想贫乏而已。”西方勘查哲学亦认为,在“思路、资金、机遇”勘查三要素中,思路对勘查成果的获得起着首要的作用。以上列举的认识,虽不全面,但启示我们:①成矿预测是经过认真分析和充分实施的创造性思维的结果;②预测评价应当始终着眼于“新”字,无论是关于新靶区或是老靶区上的新想法;③隐伏矿体定位预测的主要着眼点应该是重新考虑老靶区的再认识和再评价;④任何系统性思维框架的构建在一定程度上都有助于激发想像力、创造力和预见力;⑤很多脉状金矿区的勘查史都表明,矿体(脉)是成群出现的,在有限的面积内往往会集中多条矿脉和多个矿体,它们规模不等,深浅不一。即使已经详细勘查的老矿区,如果改变找矿思路或者采用新的预测方法,仍然会有新的发现。

第二节 成矿分析——隐伏矿体定位预测的方法论

在矿产勘查领域内的每一位勘查者,在自己的有限实践空间内都能够对具体勘查对象有所认识而形成经验思维;但经验思维只能认识简单的、个别的事物和现象,不能揭示和认识成矿的本质规律。成矿作用的复杂性和矿产勘查的风险性要求人们去更深刻地揭示和认识成矿规律,由经验思维走向公理思维,以集中体现和反映找矿经验,从经验思维的具体性上升为抽象思维的普遍性。公理思维虽在一定程度上揭示和反映了成矿客体的本质特征,但仍远远满足不了现代矿产勘查中隐伏矿预测对思维形式的需求。尤其是当前,随着找矿主体对象由地表矿、浅部矿、易识别矿向隐伏矿、深部矿、难识别矿的逐步转变,现代矿产勘查的难度、广度和深度日趋增大,急需人们的分析思路从传统的经验思维、公理思维走向辩证思维、系统思维和创造性思维,并在思维方式的变革中探索隐伏矿预测的新思路、新途径、新方法。

培根曾指出:“科学就是用理性的方法去整理感性的材料”。恩格斯亦指出:“一个民族要想站在科学的最高峰,就一刻也不能没有理论思维。”成矿分析就是指对成矿过程、成矿机理及其形成环境、控矿条件、矿化信息及矿化时空结构特征的系统解析与研究,它不仅是探索和揭示矿体定位规律的最基本途径,亦是开展隐伏矿体定位预测的最主要方法。

成矿分析是一个借助科学概念,运用理性方法整理感性材料,以揭示成矿现象本质,反映成矿时空规律的动态认识过程。它贯穿于成矿预测和勘查评价的始终,是研究成矿规律,进行成矿预测的最基本途径和最有效的方法。大量的矿产勘查实践证明,科学的成矿预测实质上是在正确的成矿分析基础上的合理推断。预测水平的高低和预测效果的优劣,在很大程度上取决于成矿分析的深入程度;而对矿体定位规律的认识深度和隐伏矿体定位预测的准确程度,在很大程度上取决于成矿分析思路、途径、方法的正确性和有效性。

成矿分析是一项探索性、技艺性很强的研究工作。探索性表现为:成矿分析常常是在成矿信息不完整和不确定条件下的解析与研究,故结论具有明显的不确定特点。技艺性表

现为：对分析思路、途径、方法的选择与应用，就像使用同样原材料进行生产的工人会因技艺差别而制造出不同质量的工件一样。不同的预测者运用相同的资料对同一对象进行成矿分析时，会因分析思路、途径、方法的不同而获得大相径庭的认识与结论。因此，成矿分析过程实质上是一个资料、信息与思路、途径、方法相结合的过程。其中，资料、信息是基础和前提，思路、途径、方法的选择、应用则是核心与关键。正确掌握思维规律，运用先进的思维方式和分析方法，可以有效地提高成矿分析的能力和水平。

科学的成矿分析，以揭示成矿规律的本质属性为目的。成矿作用过程及矿化产物空间展布的系统性、结构性、整体性、自组织性和层次性特征是成矿分析的最主要内容，并构成成矿分析的认识观和方法论。科学的成矿分析要求透过复杂纷纭的成矿现象和矿化信息，揭示出成矿作用内在的本质规律和有效的预测评价标志。成矿分析的作用与意义具体表现为：①区分事物的真象与假象，撇开事物外部的、非本质的联系，让其内部的、本质的联系和过程暴露出来；②撇开与找矿无关的内容，抛开次要的过程和干扰因素，从纯粹的形态和结构上考察其演化过程和展布规律；③区分基础的东西和派生的东西，深入事物的内层，把决定事物性质的、隐蔽的本质属性抽象出来；④从成矿客体的本质特性出发，将其各种属性和关系综合起来，从系统整体性、时空结构性、等级层次性等方面揭示和厘定成矿系统完整的、本质的规律，以指导隐伏矿体定位预测实践。

第三节 结构分析——隐伏矿体定位预测的有效途径

结构性和同型性是系统科学的两个基本概念，也是预测学中认识外拓和方法普适的理论基础。结构性意味着构成统一成矿系统的诸要素之间相互关系的总和或统一。同型性则是指各种不同成因的热液脉状矿床由成矿机理的相似性而导致在结构上或形式上的一致性 or 相似性。同型性并不是指各种系统的表面类似性或外在类似性，而是指其内在规律性的形式一致性或结构类似性。系统科学的研究表明，存在着适用于各种不同系统的一般概念、一般原理和一般定律，不论这些系统的组元及其相互关系的具体特性如何。在不同的系统个体之间、不同的系统类型之间及不同的系统层次之间，都存在着某种同型性。因此，系统的同型性不仅是系统科学的主要研究对象，而且又是系统方法赖以成立的依据。

隐伏矿体定位预测，作为一个复杂的系统工程，其科学内涵涉及到系统学、运筹学、控制论和信息论的诸多方面。其核心是树立系统思维和整体观念，采用从整体到局部的结构分析方法，从定性到定量的综合集成方法。隐伏矿体定位预测中的结构分析，是指以地质异常理论和成矿构造物理化学场理论为指导，以成矿场矿化时空结构分析和综合异常结构分析为途径，以隐伏矿体定位预测为目标的有效预测方法。其主要特点是把矿体的形成与分布作为一个构造物理化学综合成矿系统，具有相应的系统组合异常和与矿体空间定位呈现对应耦合关系的空间结构特征。为此，从统一成矿——异常场角度综合考虑其矿致地质异常结构、物性异常结构、物质异常结构及物理化学环境异常结构及其对应耦合特征，结合隐伏矿体定位预测的立体化要求，进行地、物、化预测信息的有效提取和有机关联，使所获关键预测信息具有穿透性和集成性特征。

成矿系统的复杂性和预测目标的精确性，要求隐伏矿体定位预测必须多方位、立体化地去研究矿致异常场、成矿构造物理化学场和矿化场的精细结构特征，并揭示其与矿体空

间定位的对应耦合关系。采用复杂预测对象研究的结构分析方法，可以使矿体定位规律研究进一步客观化、系统化和科学化，因为预测对象的结构性是客观存在的。根据预测者对预测对象的内部组成、外部环境、信息显示及其相互关系的认识程度，可对预测对象进行结构划分。在此基础上，对预测对象的内部组成及外部环境进行解剖，考查诸因素与成矿的相关程度，达到把握矿体分布特点及定位规律的目的。从精确尺度上观察和刻画出预测对象的结构特征，这就是预测对象结构分析的基本含义。

要在错综复杂的成矿现象中，总结出反映成矿本质的规律性，是一项难度较大的工作。然而，结构分析法可为此研究提供有力的手段。通过空间结构分析和时间结构分析对各控矿因素进行研究，分析各种地质构造要素与金矿化的成生联系，特别是查明各要素对矿化局部富集的控制，把握矿体的空间定位规律。通过信息结构分析，总结各种矿化显示的结构规律性，可以提高对各种信息的有效提取和优化能力。成矿系统的时间结构、空间结构、信息结构、异常结构及其多重异常场、矿化场结构的时空耦合关系构成隐伏矿体定位预测中结构分析方法的具体内涵。实践证明，多重场结构分析是隐伏矿体定位预测的有效途径。

第四节 组合预测方法——隐伏矿体定位预测的新工具

预测方法是指人们在成矿预测研究中，针对预测对象和目标任务，为达到某种预测目的所采用的手段或工具。其具有以下特点：首先，预测方法和预测对象及预测目的是紧密联系在一起的。因为成矿预测是一个观测、分析、推理、判断的系统过程，因此其用于不同阶段的预测方法应是一个关联组合。其次，预测方法与预测理论之间有着极为密切的内在联系。在一定意义上，可以把预测方法理解为预测理论的实际应用，因为任何预测方法都是以一定的预测理论为依托的；而任何预测理论又都应具有方法论功能，都可以在一定的条件下转化为预测方法。另外，预测方法也是预测工作者从事成矿预测研究与实践的经验总结与智慧结晶，具有源于实践，服务于实践，并在实践中检验、修正、完善与发展的实践—认识特征。

上述成矿预测方法的多方面涵义和实质，决定了对其开展研究的多方面重要意义。特别是在随着找矿主体对象发生转变，找矿难度和找矿风险日益增大和为保证我国经济可持续发展而急需开展隐伏矿预测的新形势下，开展以隐伏矿体定位预测方法为重点的探索与研究，对于有效提高预测成果的可靠性与准确度，促进成矿预测学发展和提高预测找矿实效都具积极的作用。在新一轮矿产勘查工作中，只有掌握和运用科学的预测方法，才能在成矿预测实践中取得好的预测效果，实现新的找矿突破。大量的找矿实践证明，成矿预测，尤其是隐伏矿体定位预测是一项探索性、创造性劳动，比其它研究工作更需要讲究方法。正确的预测方法，可以使人们更好地发挥创造才能，顺利地到达成功的彼岸；而错误的预测方法，则会使人误入歧途，劳而无功。培根早就指出“跛足而不迷路能赶上虽健步如飞但误入歧途的人。”巴甫洛夫曾有一句至理名言，“科学是随着研究法所获得的成就而前进的。”

选择恰当的预测方法是提高隐伏矿预测结果可靠性和准确度的关键。各种预测方法都是试图从控制矿体形成与分布的诸多因素中的某一个或几个侧面来预测隐伏矿体的存在及

产出的具体位置。每种预测方法都各有其特点和应用条件，因此方法的选择与组合就显得尤为重要。

首先强调的是组合创新的高度分析和认识隐伏矿体定位预测的方法选择与应用问题。因为从根本意义上讲，组合创新首先是一种思想方法而不是一种拿来就能用的简单技术。科学技术发展到今天，重大的原理性的创新已不多见，而综合型的创新却日趋增多。例如，美国阿波罗登月飞船总设计师韦伯曾说：“阿波罗登月船所使用的没有一项是新技术，都是现成技术，关键在于系统地综合。”未来学家阿尔温·托夫勒也指出，“当代的一系列重大突破常常不是来自孤立的单项技术，而是来自并列的几项技术或其组合”。笔者认为，组合创新概念的形成将为我们提供一种崭新的创新思维方式和方法。组合创新的两个技术关键：一是要寻求和选择最优的组合要素；二是要研究和确定最佳的组合结构。

当前，随着预测对象复杂性程度的增强，预测方法研究与应用的整体化趋势日益明显，主要表现为：①不同学科之间在预测方法上的相互移植；②多种预测方法之间的彼此渗透；③各种预测方法的综合运用；④定量预测方法的广泛应用；⑤组合预测方法的迅速发展。笔者根据隐伏矿体定位预测的探索与实践，提出了组合预测法的新概念。所谓组合预测法，是指针对隐伏矿体定位预测这一矿产勘查中的关键技术问题，根据预测对象和目标要求提出最优方法组合角度，将两种或两种以上的预测方法进行整合性重组，以获取具有统一整体功能的预测效果，组合预测法不等同于目前常说的综合信息预测法和地、物、化、遥综合勘查技术，其内涵是系统思维方法及最优化理论方法的应用，即针对解决待定的关键问题，选择最有效的预测方法组合。这种“组合预测方法”的探索与应用反映着预测方法领域的思维创新、理论创新和技术创新趋势。菊池诚博士曾指出，“创新有两条途径：第一是全新的发现；第二是把已知原理或方法进行组合”。笔者认为，自觉地选择和应用组合预测方法，可以产生整体大于部分之和的新效果。因此，与其说它是一种新的方法，不如说它是一种新的概念、新的思路。

组合预测法的构建思路为：首先把预测对象在理性上抽象化，找出能反映预测对象的本质，或找出达到目标所要解决的关键科学问题，并注意到有助于问题解决的启示，从而形成系统观点和组合方法。组合预测法具有以下特点：①综合性。任何方法都具有优点和不足，把两种以上预测方法进行整合性重组，可形成功能互补；②相关性。预测对象、目标的同一性使之在信息提取、目的物逼近方面具内在相关性；③功能性。以已有方法及原理为基础，通过选择与组合，创造出新的功能和效益；④组合形式的多样性。组合预测法对所组合方法的数目没有限制，组合形式也多种多样，既可以是方法的直观组合，亦可以是方法原理的组合或性能的组合。应该强调的是，本书所指组合预测方法的含义，决不是将早为人们所熟知的预测方法简单地套合或叠置，而是将矿体空间定位机理、定位规律的厘定与表征、预测信息的提取与优化等隐伏矿体定位预测中关键技术问题的研究提高到一个新的高度，从整体、动态、多学科交叉渗透和互补的角度进行定性、定量，以至三维立体上的定位预测。它不仅涉及到具体预测方法的选择、组合与优化问题，而且更重要的是需要在思维方式上进行组合创新的深入探索。这种在组合创新思维方式指导下构成的组合预测方法可同时集聚多种单一预测方法的优点，并有助于多预测信息的有机关联，优选关键信息，强化微弱信息，衍生新信息和发掘深层次信息，从而使其预测精度明显优于单一预测方法，有效提高了隐伏矿体定位预测的可靠性和准确度。

隐伏矿体定位预测涉及到从矿体定位机理的分析到定位规律的厘定,从多源预测信息的有效提取到关键性预测标志的优化,从高精度预测模型的建立到最优预测方法的选择,从具体靶位的优选到验证工程的布置,是一项难度大、探索性强的复杂系统工程。因此,必须采用组合创新思维和组合预测方法,才有可能取得满意的预测效果。