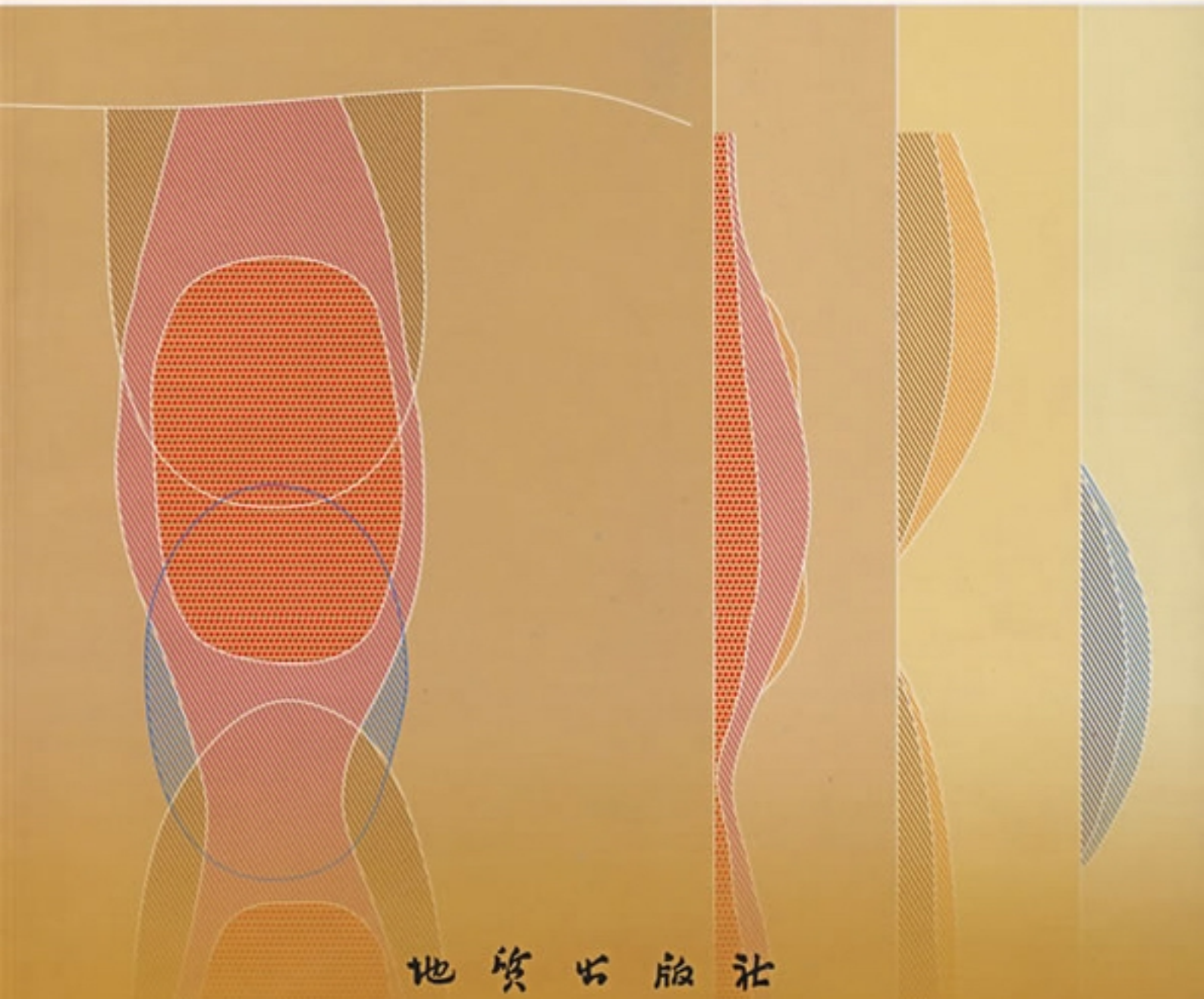
中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘查院科研成果化探专著

金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果

李 惠 张国义 禹 斌 主编



地质出版社



李惠，教授，男，1937年生，1964年毕业于北京地质学院（中国地质大学）地球化学专业，先后任冶金部地质研究所（北京），中国有色金属工业总公司矿产地质研究院（桂林），北京矿产地质研究所副主任，中国冶金地质勘查工程总局（原冶金部）地球物理勘查院物化探研究所主任、所长，名誉所长、教授，中国地质大学（武汉）兼职教授；国家现代地质勘查工程技术研究中心客座教授，中国地质学会勘查地球化学专业委员会三、四届副主任，中国金属学会冶金地质学会理事，物化探专业委员会一、二、三届副主任，中国黄金学会地质学术委员会委员。是1991年国务院首批“享受政府特殊津贴的专家”，1997年荣获冶金部“中青年有突出贡献专家”，1996年第三次全国黄金工作会议授予“八五期间为黄金工业发展做出突出贡献先进个人”称号，“河北省有突出贡献专家”，“河北省劳动模范”。

已获省部级以上科技进步奖17项，其中国家科技进步二等奖三项、部特等奖一项、一等奖三项、二等奖五项、三等奖六项。

发表专著五部，参加编写专著六部，主编论文集一部，发表论文131篇，在国际上发表论文12篇，获各级学会优秀论文15篇。

编辑委员会

主　任：刘三洋

副主任：张国义　骆华宝

委　员：李　惠　刘三洋　张国义　骆华宝　禹　斌
李德亮　朱向泰　张连发　徐叶兵

主　编：李　惠　张国义　禹　斌

参加编写人员：李德亮　张文华　王支农　朱向泰
常凤池　王志远　张连发　张　强
司淑云　惠德峰　高彦龙　上官义宁
高洪兴　张北廷　董帅民　高祥海
王瑞腾　耿仙湖　于　虎　陈绪松
赵可广　贺永利　王建民　梁斌祥
刘　军　赵宗勤　邵建波　史敬海

中国冶金地质勘查工程总局局长闫学义教授

2005年12月15日为本专著题词：

内容详实　理论创新　成果显著



序

进入21世纪以来，我国的重要矿产资源短缺情况日益突出，加强矿产资源勘查已是当务之急。为了提高勘查效果，发现更多更好的矿产资源，需要新的找矿思路和新的方法技术，而李惠等同志编著的这部新著正是适应这一需求而问世的。

地球化学找矿的理论和方法在整个矿床勘查领域中占有极为重要的地位，其勘查效果之显著是有目共睹的。其中，应用化学元素原生晕找寻盲矿是重要一环。这一方法前苏联较早开展。在20世纪50年代末，谢学锦、邵跃等中国化探工作开拓者几乎与前苏联学者同时各自发现了热液矿床的原生晕具有明显轴（垂）向分带，即每个矿体都有各自的前缘晕、近矿晕和尾晕，矿体的前缘晕向上延伸可达几百米，为预测深部盲矿提供了重要的直接信息，开创了原生晕找寻盲矿的新方法，取得了良好效果。

70年代末至90年代，我国化探专家研究并建立了若干有色金属及金矿床的原生晕模式和找盲矿模型，是原生晕方法的重要进展，提高了找矿水平。但随着对原生晕找寻盲矿模型研究的不断深入，特别是80年代以来，在研究原生晕轴（垂）向分带、建立矿床原生晕模式时，发现了很多矿床轴（垂）向分带有“反常、反分带或杂乱无章异常现象”，用原生晕分带理论无法解释。这一困惑化探人员多年的难题，严重影响了应用原生晕方法预测盲矿效果的进一步提高。

90年代以来，李惠教授在深入研究原生晕轴（垂）向分带理论的基础上，密切结合热液金矿床成矿理论，根据金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的特点，研究并发现了不同期次形成的矿体及其原生晕在空间上的叠加结构。据此，不仅对原生晕轴（垂）向分带出现的“反常及反分带现象”作出了合理解释，而且提取出了更多、更好的寻找盲矿信息。开创了原生叠加晕找盲矿新方法，并在实际参与20多个矿山的找矿实践过程中，使原生叠加晕方法逐渐成熟和完善。

近年来，在矿山（含危机矿山）找矿的实践中，其研究思路、方法又有新的进展，将原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法——研究构造中原生叠加晕的方法，强化了盲矿信息，减少了工作量，是研究和应用原生晕找寻盲矿方法的又一进展。这一方法是针对热液脉状金矿床的特征而总结提出的。这类金矿的成矿严格受构造控制，构造活动和热液活动有脉动性，导致金矿原生晕具有多期多阶段的脉动叠加特点。据此，不仅研究每次成矿形成原生晕轴（垂）向分带，而且还要研究不同成矿阶段形成矿体（晕）在空间的叠加结构，建立典型金矿床的构造叠加晕模式。根据20多个典型金矿床的构造叠加晕和叠加结构的共性，总结出了金矿床叠加晕的四种叠加结构理想模型：包括四种叠加晕模式和五条盲矿预测准则，并建立了一整套从采样、分析到预测的方法和技术。从而显著提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。

构造叠加晕法这一新的思路和方法经过十多年来在20多个金矿山中的实际应用已证

明是有效的，在部分矿山中经对预测靶位进行工程验证已新增金金属量60余吨，缓解了这些矿山的资源危机，延长了矿山寿命，取得了显著的经济效益和社会效益。证实了构造叠加晕在矿山深部及其外围找寻盲矿是一种有效的新方法、新技术。

书中还介绍了金矿包裹体气晕、离子晕找寻盲矿的新方法、新技术。根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的特点和金矿床气晕和离子晕的分带规律，建立金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，应用模型预测取得了好的效果。

综观李惠教授等人的科研工作及本书有两个特点，一是坚持科研工作为国民经济建设和社会发展服务，为缓解矿山资源危机，为找矿预测服务；二是理论与实践、研究与找矿密切结合，根基扎实，反复验证，不断提高，终于在应用原生晕探矿这一领域取得创新成果，开创了热液脉型矿床深部找矿的有效途径。在当前正在展开的深部找矿工作中，它必将得到进一步的应用、检验并获得新的发展。

我祝贺这一专著的出版，并对作者们严谨求实、锲而不舍的精神表示由衷的敬意。

翟裕生

2005.9.20

感谢中国科学院院士、矿床学家、地质教育家——中国地质大学（北京）翟裕生教授的支持和为本专著写序。

——作者

2005.9.20

目　录

序

前　言 …… (1)

第一篇　金矿盲矿预测的构造叠加晕理想模型 …… (9)

第一章　金矿床构造叠加晕法 …… (9)

一、矿床（体）的原生晕、原生叠加晕、构造叠加晕概述 …… (9)

（一）原生晕 …… (9)

（二）金矿床的原生叠加晕、构造叠加晕概述 …… (11)

二、金矿床（体）原生晕、原生叠加晕、构造叠加晕的发展与创新 …… (12)

（一）原生晕找盲矿法的开创与应用阶段 …… (12)

（二）原生晕模式、模型研究阶段 …… (12)

（三）原生叠加晕法 …… (12)

（四）原生叠加晕法发展为构造叠加晕法 …… (13)

（五）研究和建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型 …… (13)

三、金矿床构造叠加晕的研究思路、内容及方法 …… (13)

（一）研究思路、技术关键 …… (13)

（二）典型金矿床（体）的构造叠加晕模型研究内容及方法 …… (14)

第二章　金矿床构造叠加晕基本特征 …… (16)

一、金矿多期多阶段叠加成矿的基本地质特征 …… (16)

二、金矿多期多阶段叠加成矿成晕的基本地球化学特征 …… (18)

三、金矿床的轴（垂）向地球化学参数的叠加结构理想模式及其应用准则 …… (20)

四、金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列、叠加特点及其应用准则 …… (25)

五、金矿床（体）原生晕的前晕、尾晕叠加共存及其应用准则 …… (32)

第三章　金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕理想模型 …… (33)

一、典型金矿床不同成矿阶段包裹体成分的变化规律 …… (33)

二、典型金矿的蒸发晕、热晕特点 …… (35)

三、典型金矿床的气晕、离子晕叠加特征 …… (37)

四、金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕的四类叠加晕理想模型 …… (40)

五、包裹体叠加晕预测金矿盲矿的效果 …… (41)
第四章 金矿盲矿预测的构造叠加晕理想模型 …… (42)
一、金矿盲矿预测的构造叠加晕四类理想模型 …… (42)
二、构造叠加晕用于盲矿预测的五条准则 …… (46)
第二篇 典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (48)
第一章 胶东典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (48)
模型 1 山东蓬莱黑岚沟金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (48)
模型 2 山东乳山三甲金矿床的构造叠加晕模型及两次预测盲矿效果 …… (54)
模型 3 山东乳山金青顶金矿床的构造叠加晕模型三次跟踪研究及预测效果 …… (61)
模型 4 山东牟平邓格庄金矿床的构造叠加晕模型 …… (70)
模型 5 山东新城金矿床的构造叠加晕模型及两次预测效果 …… (74)
模型 6 山东招远大尹格庄金矿床隐伏矿定位预测的叠加晕模型 …… (83)
模型 7 山东招远灵山沟金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (86)
第二章 豫陕小秦岭典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (92)
模型 8 河南小秦岭杨砦峪金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (92)
模型 9 陕西东桐峪金矿床的构造叠加晕模型及预测效果 …… (100)
模型 10 河南灵宝红土岭金矿床的构造叠加晕模型 …… (105)
模型 11 小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的构造叠加晕综合模型 …… (108)
第三章 秦岭典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (113)
模型 12 陕西太白金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (113)
第四章 晋北典型金、金－钼、银－铜矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (119)
模型 13 山西阳高堡子湾金矿床的构造叠加晕模型及预测效果 …… (119)
模型 14 山西阳高九对沟金－钼矿床多建造晕模型及预测效果 …… (122)
模型 15 山西刁泉银－铜矿床的构造叠加晕模型及预测效果 …… (127)
第五章 冀北、内蒙古典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果 …… (133)
模型 16 河北东坪金矿床的构造叠加晕模型 …… (133)
模型 17 内蒙古赤峰柴胡栏子金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测 …… (135)
主要参考文献 …… (138)
附件 1 原生叠加晕－构造叠加晕新方法、新技术研究完成的项目 …… (139)
附件 2 发表构造叠加晕有关专著及论文题目 …… (142)

前　言

20 世纪 90 年代以来，在中国冶金地质勘查工程总局和地球物理勘查院的领导支持下，李惠教授等在研究和发展了原生晕找盲矿理论基础上，开创了原生叠加晕找盲矿新方法、新技术，近年来又发展为构造叠加晕新方法新技术，并取得了显著的找矿效果，也取得了巨大经济效益和社会效益。在研究叠加晕中，先后承担并完成国家科技攻关项目的 7 个课题或专题、冶金部 3 个重点项目、白银基金 2 个重点项目、国家黄金管理局 4 个重点项目和金矿山 22 个项目共 38 个科研项目（或课题、专题），先后参加人员达 70 余人（含矿山参加协作人员）（附件 1）。

本专著是对 1994～2005 年间地球物理勘查院以李惠教授为首的化探专家研究原生叠加晕→构造叠加晕找盲矿新方法、新技术及其在典型金矿区预测盲矿效果的全面系统总结。下面简单介绍构造叠加晕新方法新技术研究及其预测盲矿效果成果。

一、构造叠加晕找盲矿新方法新技术简介

原生叠加晕法：密切结合热液金矿床成矿理论，根据金矿成矿严格受构造控制，构造活动有脉动性，金矿成矿成晕不仅具有时间上的多期多阶段的脉动性，而且在构造空间上也具有不同形式的叠加结构。每次成矿形成矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，不同期次成矿形成原生晕在空间有多种叠加形式。据此，研究每次成矿形成原生晕轴（垂）向分带及不同成矿阶段形成矿体（晕）在空间上的叠加结构，建立典型金矿床的叠加晕模式，确定盲矿的预测标志，用模式和标志对深部进行盲矿预测。

构造叠加晕法：只研究构造蚀变带中原生叠加晕特征并用于盲矿预测的方法。

原生叠加晕法是在发展原生晕找盲矿理论基础上，开创的一种新方法、新技术，构造叠加晕法是原生叠加晕法的又一发展。构造叠加晕法为矿山、特别是危机矿山寻找接替资源，在矿区深部及其外围进行盲矿预测提供了一种经济、快速、直接、有效的新方法、新技术，在二十多个危机矿山找矿应用中，找矿效果非常显著，取得了巨大的经济效益和社会效益，具有重要实用价值和广泛推广价值。

（一）研究背景与历程

（1）原生晕找盲矿法的开创与应用：20 世纪 50 年代末，谢学锦、邵跃等中国化探元老几乎与前苏联学者同时各自发现了热液矿床的原生晕具有明显轴（垂）向分带，即每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，矿体的前缘晕向上延伸达几百米，为预测深部盲矿提供了重要的直接信息——原生晕找盲矿的理论依据，开创了原生晕找盲矿新方法，取得了良好效果。

（2）原生晕模式和找矿模型研究。70年代末一直到90年代，我国以欧阳宗圻为首的化探专家率先提出、研究并建立了一批典型有色金属及金矿床的原生晕模式和找盲矿模型。期间，研究了中国主要类型金属矿床，矿田地球化学异常模式和找矿模型，是原生晕方法的重大发展，提高了找矿水平。

随着对原生晕找盲矿模型研究的不断深入，特别是20世纪80年代以来，在研究原生晕轴（垂）向分带、建立矿床原生晕模式时，发现了很多矿床轴（垂）向分带有“反常、反分带现象”，用热液矿床一次成矿或一个主成矿作用形成的原生晕分带理论无法解释，困惑了化探人员几十年，严重影响了应用原生晕方法预测盲矿效果的进一步提高。

（3）20世纪90年代以来，原生晕法发展为原生叠加晕法阶段。为解决上述问题，李惠教授在深入研究原生晕轴向分带理论的基础上，密切结合热液金矿床成矿理论，根据金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的特点，研究并发现了不同期次成矿形成的矿体及其原生晕在空间上的叠加结构。据此，不仅对原生晕轴（垂）向分带出现的“反常及反分带现象”作出了合理解释，而且提取出了更多、更好的找盲矿信息。开创了原生叠加晕找盲矿新方法，大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。通过参加“八五”国家黄金地质攻关项目（90051－09）、国家黄金局项目、冶金部项目，特别是在1996年参加国家攀登计划项目中，使原生叠加晕方法逐渐成熟和完善，总结出了金矿盲矿预测的四种叠加晕理想模型和盲矿预测的五条准则。

（4）原生叠加晕法发展为构造叠加晕阶段：1998年以来，又通过参加“96－914”“九五”国家攻关项目及在十几个矿山或危机矿山找矿的实践，其研究思路、方法又有新的发展和突破，将原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法——研究构造中原生叠加晕的方法，使研究和应用原生晕找盲矿方法又一次飞跃性发展。

（5）研究和建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，“八五”期间，在参加国家攻关项目“90050－10”的课题研究中，系统研究了金矿床的离子晕和气晕的特征及其轴（垂）向分带性，根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的特点和金矿床气晕和离子晕的分带规律，建立了金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，总结出了预测盲矿和判别金矿剥蚀程度的包裹体地球化学标志，开创了金矿包裹体气晕、离子晕找盲矿的新方法、新技术，应用模型预测取得了好的效果。

（二）构造叠加晕预测盲矿的理论基础

（1）热液矿床（体）具有明显的轴（垂）向分带，即每次成矿形成的矿体（晕）都有明显的前缘晕、近矿晕和尾晕——原生晕找盲矿的理论。

（2）金矿成矿成晕具有多期、多阶段脉动叠加特点，金矿床（体）原生叠加晕是金矿多阶段脉动叠加成矿成晕的结果，金矿叠加成矿成晕包括了时间上的多阶段成矿的脉动性、继承性和在空间上的叠加性，即金矿床（体）原生叠加晕是在有相同物质来源、含矿热液成分和形成条件都有继承性变化的多阶段脉动演化所形成的叠加晕。由于每个阶段形成的原生晕在空间上叠加或衔接形式或叠加结构的多样性，所以叠加晕是一种非常复杂的原生晕。

（3）热液矿床严格受构造控制，构造中矿体的原生晕发育特点是在矿脉上、下盘不发育，而在构造带内强度高、范围大，特别是前缘晕在矿体前缘可达几百米。研究构造中

的原生晕轴向分带及不同期次形成原生晕的叠加结构，只在构造带中采取有蚀变叠加样品，不但可强化晕的强度或盲矿预测信息，而且大大减少采样及分析工作量，比原生叠加晕法更经济、快速。

原生叠加晕找盲矿的理论发展了原生晕找盲矿的理论，构造叠加晕找盲矿又发展了原生叠加晕找盲矿方法。

（三）新的研究思路

密切结合热液金矿床成矿理论，金矿成矿严格受构造控制，构造活动有脉动性，金矿成矿成晕不仅具有时间上的多期多阶段的脉动性，而且在构造空间上也具有不同形式的叠加结构。据此，不仅研究每次成矿形成原生晕轴向分带，而且还要研究不同成矿阶段形成矿体（晕）在空间上的叠加结构，建立典型金矿床的构造叠加晕模式，确定盲矿的预测标志，用模式和标志对深部进行盲矿预测。

构造叠加晕法的技术关键是研究和发现：①每次成矿形成原生晕的轴向分带；②不同期、次成矿形成矿体的原生晕在构造空间上的叠加结构。

（四）构造叠加晕找盲矿新方法研制的主要成果

以新的研究思路为指导、抓住关键技术，研究了20多个典型金矿床的构造叠加晕特点及其叠加结构，建立了20多个典型金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型：包括金矿床的构造叠加晕模式和盲矿预测标志，并总结了其共性，主要成果是：

1. 金矿不同成矿阶段元素组合

对典型金矿床不同成矿阶段（Ⅰ：黄铁矿－石英阶段，Ⅱ：石英－黄铁矿阶段，Ⅲ：金－多金属硫化物阶段，Ⅳ：碳酸盐阶段）形成矿体元素组合的研究，总结出了热液金矿床不同成矿阶段元素组合沉淀演化规律模式，其特点是：第Ⅰ阶段（黄铁矿-石英阶段）和第Ⅳ阶段（碳酸盐阶段）带来或沉淀的元素很少，Au含量低（$<1\times10^{-6}$），Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg含量也很低，第Ⅳ阶段以Mn含量高为特点；Au及Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、Mn等主要是由第Ⅱ、Ⅲ阶段带来，其中Au、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Co、Ni在两个主成矿阶段含量相近，而Cu、Pb、Zn的高含量则为Ⅲ阶段（金－多金属硫化物阶段）的特征。实际上，金矿床（体）的原生叠加晕的特点及其叠加结构主要取决于第Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段。

2. 总结出了中国主要类型金矿床的原生晕轴（垂）向分带的通用序列

通过对58个典型金矿床原生晕轴向分带序列的概率统计，得出了中国金矿床的原生晕综合轴（垂）向分带序列，从上至下为：

B—I—As—Hg—F—Sb—Ba→ Pb—Ag—Au—Zn—Cu→ W—Bi—Mo—Mn—Ni—Cd—Co—V—Ti

矿体前缘及上部　　矿体中部　　矿体下部及尾晕

3. 金矿床地球化学参数轴向叠加的理想模型

金矿床（体）特别是大矿、富矿的形成，大多是多阶段成矿叠加的结果，根据矿床地球化学参数轴向叠加特点，可归纳为6种有代表性叠加结构，地球化学参数的轴向变化理想模型及用于深部预测盲矿的准则：当计算整个矿体或矿体上半部分的某些地球化学参数时，从上至下，参数a（前缘晕/尾晕元素）由降低又转为升，即发生转折时，则是深部另一阶

段形成矿体的头部或前缘的显示，指示矿体向下延伸还很大或预测深部有盲矿存在。

4. 建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型

根据金矿多期多阶段叠加成矿成晕中包裹体气晕和离子晕的轴（垂）向分带性及其叠加特点，研究了典型金矿床石英包裹体气晕、离子晕的轴向分带：前缘晕特征组分为 CO_2、CH_4 气晕和 F^-、Cl^- 离子晕及 $\overline{D}_{CO_2}$、$\overline{D}_{H_2O}$；尾晕特征组分为 Ca^{2+}、Mg^{2+} 离子晕。

总结出了金矿床包裹体气晕、离子晕的叠加晕理想模型及盲矿预测标志。

5. 金矿盲矿预测的四种构造叠加晕理想模型

金矿盲矿预测的四种构造叠加晕理想模型（包括四种叠加结构的构造叠加晕理想模式和五条盲矿预测准则）。

（1）金矿最佳指示元素组合：Au、Ag、Cu、Zn、Hg、As、Sb、B 、Bi、Mo、Mn、Co。

（2）前缘晕特征指示元素组合是：Hg、As、Sb、（F、I、B、Ba）；

近矿晕特征指示元素组合是：Au、Ag、Cu、Zn；

尾晕特征指示元素组合：Mo、Bi、Mn、Co、Ni。

理想模式中前、尾晕元素并不是在每个矿床都出现。

（3）四种构造叠加晕理想模型：不同期次成矿（晕）在构造空间上有多种叠加结构，根据金矿床的构造叠加晕的叠加结构的共性，总结出了金矿床叠加晕的四种叠加结构理想模式（模式图）。

模型 1：单一主成矿阶段或两个主成矿阶段形成矿体（晕）同位叠加晕理想模型；

模型 2：串珠状金矿体（晕）构造叠加晕理想模型；

模型 3：两个主成矿阶段形成矿体（晕）部分叠加理想模型；

模型 4：金矿床（体）复杂叠加晕理想模型。

（4）五条盲矿预测准则

准则 1：前（缘晕）强、尾（晕）弱准则：当金异常强度较低时，前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B、F、I、Ba 等出现强异常，尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co、Ni、Sn 等为弱异常，指示深部有盲矿存在；相反，前缘晕不发育，而尾晕较强，则深部无矿。

准则 2：原生晕轴（垂）向分带“反分带”准则：当计算已知金矿体原生晕轴（垂）向分带序列时，出现“反向分带或反常”，即典型前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B、F、I、Ba 等出现在分带序列的下部，则指示已知金矿体深部还有盲矿存在或有第二个富集带（盲矿体）存在，若出现在矿体中部（矿体本身还未尖灭），则指示矿体向下延伸还很大。

准则 3：地球化学参数“反转”准则：计算已知金矿体或晕轴向不同标高的地球化学参数（比值：前缘晕元素/尾晕元素或其累加、累乘比；或尾晕元素/前缘晕元素或其累加、累乘比）时，若其值从上至下有几个标高连续下降或上升，到已知矿体尾部突然反转，即由降转为升或由升转为降，这种变化指示已知金矿体深部还有第二个富集带盲矿体存在，若在矿体中、下部出现转折，则指示矿体向下延伸还很大。

准则 4：“前、尾晕共存”准则：在已知矿体尾部有金异常的条件下，既有前缘晕指示元素的强异常，又有尾晕指示元素的强异常存在，即前、尾晕共存，指示已知金矿体深部有第二个富集带盲矿体存在，若在矿体中、下部出现前、尾晕共存则指示矿体向下延伸还很大。

准则5：前缘晕轴向下部强度增强趋势准则：从已知矿体前缘→头部→中部→下部→尾晕，前缘晕元素异常强度若出现由强→弱→强的变化趋势或由强→强→强，则指示已知金矿体深部还有第二个富集带盲矿体存在。

以上五条准则中后四条是根据不同阶段形成矿体（晕）在空间上叠加结构提出的特有标志，是据原生晕一次成矿（晕）分带理论不能解释的现象。在已知矿体深部第二个富集带或盲矿体的预测中，这些准则的有效性已得到了证实。

四种金矿盲矿预测模型，具有普遍指导意义和应用价值，但在典型矿区应用时，必须研究其特性，建立本矿床的构造叠加晕模式和盲矿预测标志，预测效果更好。

6. 创新点或技术进步

构造叠加晕的基本理论是在研究原生晕基本理论——热液矿床具有明显的轴（垂）向分带上的基础，还要依据金矿成矿严格受构造控制，金矿成矿晕在时间上的多期多阶段的脉动性及不同期次成矿（晕）在构造空间上的叠加结构。

构造叠加晕的技术进步表现在：对困惑着化探专家几十年、严重影响原生晕找盲矿效果的提高，用一次主成矿论的原生晕轴向分带理论不能解释的原生晕轴向出现的“反分带或反常或认为杂乱无章的异常现象”，根据叠加成矿成晕观点分析，则是由于深部盲矿的前缘晕叠加于上部矿体的尾部结果，不仅作出了合理解释，而且将“前、尾晕共存”、“反分带”和“地球化学参数轴向转折”的等无规律的反常现象变成了深部有盲矿存在的重要标志，大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。

构造叠加晕法是研究构造中原生叠加晕，只在构造蚀变带内取有蚀变、矿化部位取样，不仅强化了异常或盲矿信息，而且减少了工作量，是原生叠加晕的又一发展。

中国化探元老谢学锦院士、矿床学家陈毓川院士、常印佛院士、叶天竺教授等给予了很高评价：“原生叠加晕发展了原生晕分带理论”，并支持出版了《大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型》（李惠主编，1998），陈毓川院士、常印佛院士和中国第一代化探专家欧阳宗圻教授为专著写了序。

对金矿包裹体气晕、离子晕找盲矿的新方法、新技术，建立的金矿盲矿预测包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，专家鉴定认为是在包裹体地球化学找矿方面是一个飞跃和发展，具有创新性和广泛应用价值。

二、构造叠加晕法在危机金矿山应用，取得了巨大的经济效益和社会效益

（1）找矿效果：已在二十多个金矿山应用，据统计，共提出了盲矿预测靶位200余个，预测金金属量达200t以上。目前，据部分矿山对部分预测靶位验证见矿增储的统计，就已获得金金属量63.1t，验证见矿计算金金属量大于5t的矿山有：河南秦岭金矿、文峪金矿、陕西太白金矿、山东乳山三甲金矿、蓬莱黑岚沟金矿。此外，山西大同金矿、陕西东桐峪金矿、李家金矿、河南召威金矿、山东大柳行金矿等金矿验证预测靶位都取得了很好的找盲矿效果，但还未计算储量。证明了构造叠加晕在矿山深部及其外围找盲矿是一种有效的新方法、新技术。

（2）经济效益：获得金金属量63.1t（大型金矿≥20t），潜在价值63亿元，远景潜

在价值200亿元。

（3）社会效益：缓解了这些矿山的资源危机，分别延长了这些矿山服务年限5～12年，不但取得了巨大的经济效益，而且为十几个危机矿山的几万名职工继续就业、稳定社会也取得了巨大的社会效益。

三、解决危机矿山接替资源，具有广泛推广应用价值

当前我国很多大型－中型有色金属及金矿山经多年开采，资源严重危机，关闭和拟关闭的矿山日益增多，已经引起了温家宝总理的关注和高度重视，2002年曾多次批示“解决危机矿山的接替资源，在矿区深部及其外围寻找盲矿，延长矿山服务年限，具有经济和社会双重效益，是当前的一项极为紧迫任务”。构造叠加晕法是在矿区深部及外围找盲矿的一种经济、快速、有效的新方法、新技术，具有广泛推广市场和应用价值。该方法的推广，必将取得更巨大的经济效益和稳定社会的社会效益。

四、发表有构造叠加晕方法研究的专著一部、论文46篇

（1）出版了《大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型》，李惠主编，冶金工业出版社，1998。

（2）发表了有关原生叠加晕或构造叠加晕模型论文46篇（国际上4篇、国内42篇，见附件2），其中有13篇被学会并评为优秀论文，并被“中国科技发展精典文库”、“中国创新发展研究文库”、“中国专家学术成果通鉴”、“中国现代理论文集”等30余家出版社收藏转载，获学会、协会或学术研究学会优秀论文奖、特等奖、一等奖论文15次篇，其中《金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则》论文被21家文库收藏转载，并评为优秀成果论文特等奖或一等奖，证明了该论文有很高的科学价值。

五、推广应用情况

除李惠教授为首已经在二十多个矿山直接应用：

（1）专家引用：据查在“地质与勘探”、“黄金”、“黄金地质”、“地质找矿论丛”等地质杂志上发表的有关“矿区深部及其外围应用原生晕找矿研究及效果”论文的参考文献中，大都参考了李惠发表有关构造叠加晕专著和论文。是构造叠加晕法得到推广应用的佐证。

（2）应邀讲课介绍构造叠加晕法：曾先后应中国地质大学（武汉）三次邀请讲课；武警黄金指挥部一总队、三总队、十支队、七支队，冶金部第一、第三及西北地勘局等邀请讲课介绍，并现场指导。

（3）据了解，很多大专院校、科研及地勘单位在矿区深部及其外围盲矿预测中已广泛应用了构造叠加晕法，并取得了显著找矿效果。

六、获奖情况

（1）胶东金矿原生叠加晕找矿模型研究成果（李惠为课题负责）是国家重点黄金地质科技攻关项目“我国主要类型金矿床综合方法找矿模型研究”（李惠是项目第三负责人）的重要成果之一，项目1998年获地质矿产部科技进步二等奖。

（2）陕西太白金矿构造叠加晕定位预测示范研究（李惠为专题组长）是国家96－914攻关项目中“重要类型金矿床（体）快速定位预测的综合示范研究”课题的重要成果，项目2001年获中国有色金属工业协会、中国有色金属学会科技进步二等奖。

（3）李惠应近二十个金矿山邀请，采用构造叠加晕法在矿区深部盲矿预测，由于找矿效果显著，山东黑岚沟项目2005年3月获中国黄金协会科技进步一等奖、山东乳山、三甲两个矿山项目成果分别获科技进步三等奖。

（4）包裹体地球化学方法找金的研究，1996年12月，获国家黄金局科技进步二等奖。

以上奖项构造叠加晕法只是作为大项目的重要成果之一及单独一个典型金矿山研究成果获奖，而本专著是对十年来研究构造叠加晕法及找矿效果的全面总结。

（5）“金矿定位预测的构造叠加晕技术与方法研究”，2005年12月获中国冶金地质勘查工程总局科技进步一等奖。

七、专家评价意见

2005年5月25日，中国黄金协会在北京组织召开了“构造叠加晕新方法新技术研究及其在金矿区深部盲矿预测效果”鉴定会。鉴定会由中国科学院院士涂光炽先生担任主任委员，中国地质大学翟裕生院士担任副主任委员，委员由北京矿产地质研究院欧阳宗圻教授、中国地质大学赵伦山教授、王建国教授、中国科学院地质与地球物理研究所刘秉光教授、中国黄金集团公司杨志刚教授级高工组成。中国黄金协会副会长兼秘书长吕文远到会并作重要讲话。涂光炽院士代表专家组讲话并主持该课题评审。鉴定会由中国黄金协会副秘书长张永涛主持。

该成果是1994～2005年间中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘查院完成的国家立项（7个课题或专题），原冶金部立项（3个），白银基金立项（2个）、原国家黄金局立项（4个），黄金矿山立项（22个）等38个项目的综合成果，是对1994～2005年间地球物理勘查院以李惠教授为首的化探专家研究原生叠加晕→构造叠加晕新方法、新技术及其在典型金矿区深、边部盲矿预测的全面系统总结。

鉴定意见如下：

1. 项目所提供的鉴定材料完整、齐全，符合国家有关规范和要求

2. 项目取得的主要成果有

（1）发展了后成脉状热液矿床原生晕地球化学理论，提出了原生叠加晕和构造叠加晕的新认识。针对化探工作的实际难题，在深入研究原生晕轴（垂）向分带理论的基础上，根据金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的特点，研究并发现了不同期次成矿形成的矿体及其原生晕在空间上的叠加结构，对原生晕轴（垂）向分带出现的“反常及反分

带现象”作出了合理解释，为有效地将地球化学原生叠加晕理论应用于金成矿预测奠定了理论基础。

（2）开创了原生叠加晕→构造叠加晕找矿的新技术、新方法。经过二十多个矿山的找矿实践，总结提出了四种构造叠加晕的理想模式和五条盲矿预测准则，建立了一整套科学合理的从采样到预测的方法技术，为矿山深部特别是危机矿山寻找接替资源提供了一种经济、快速、有效的新方法、新技术，大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。

（3）发现了流体包裹体分带结构，建立了金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，开创了利用流体包裹体气晕、离子晕找盲矿的新方法、新技术。

（4）在二十多个危机矿山找矿应用中，共提出了盲矿预测靶位200余个，预测金金属量达200t以上。根据部分矿山工程验证，已获得金金属量63.1t，缓解了矿山的资源危机，延长了矿山服务年限，取得了显著的经济效益和社会效益。

总体认为，该项成果在后成脉状热液矿床原生晕地球化学理论方面具有创新性认识；开创了原生叠加晕→构造叠加晕找矿的新技术、新方法和金矿流体包裹体气晕、离子晕找盲矿的新方法、新技术；是进行热液型矿床深部找矿预测的有效手段，具有广泛的推广应用价值；该成果在金矿找矿应用中经济效益和社会效益显著，成果总体达到国际先进水平，在构造叠加晕理论和应用方面达到国际领先水平。同意通过鉴定。

建议该成果进一步加强定量化预测方面的研究。

第一篇　金矿盲矿预测的构造叠加晕理想模型

第一章　金矿床构造叠加晕法

一、矿床（体）的原生晕、原生叠加晕、构造叠加晕概述

（一）原生晕[1,2]

1. 原生晕

原生晕是在矿体或其他地质体周围，赋存于岩石中的地球化学分散晕。岩石地球化学异常→原生地球化学异常→原生晕为同义语，是成矿过程中与矿同时形成的、发育在基岩中的一种地球化学异常。在热液矿床、岩浆矿床和沉积矿床成矿过程中都可形成原生地球化学异常。文中原生晕均指热液矿床原生晕。

2. 原生晕找盲矿的基础理论

原生晕找盲矿的基础理论，即热液矿床原生晕轴（垂）向分带理论。热液矿床原生晕具有明显的组分分带特征，特别是原生晕轴（垂）向分带，即每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，其前缘晕在矿体前缘可达 100～300m，为找盲矿提供了重要信息，这就是应用原生晕找盲矿的最基本的依据或理论。

热液矿床原生晕分带形成是非常复杂的过程，富含成矿元素、伴生元素、矿化剂元素、控矿元素的气水热液，在内生、外界营力的作用下，沿一定构造裂隙迁移运动，气水热液中的各元素呈简单离子、配离子及复杂配合物或气体形式迁移，热液迁移过程主要是充填、渗流、渗滤和扩散，随物理化学条件（pH、*Eh*、*t*、*p* 等）的变化，各元素的配合物相继不断破坏、沉淀。由于各元素的地球化学性质不同及在迁移过程中配合物的迁移形式和配合物稳定、破坏条件不同，造成了热液中成矿及伴生元素的沉淀有先后，在空间上形成分带，在构造体系含矿热液运移过程中，在主成矿元素沉淀形成矿体之前，活泼性弱的元素先沉淀下来形成尾晕，在主成矿元素沉淀形成矿体后，活泼性强或挥发性元素如 As、Sb、Hg、B、F、Cl、I、Br、Ba 等元素还要沿构造向上迁移一定距离才沉淀，在矿体前缘沉淀形成了前缘晕，与主成矿元素同时或近于同时沉淀的元素，形成近矿晕。

3. 研究原生晕的常用术语

（1）原生晕的分带：包括浓度分带和组分分带两种类型。

浓度分带：是同一组分（元素）的含量自矿化中心或异常中心向外有规律变化的现象。原生晕浓度分带：一般将各种元素的浓度分为外带、中带和内带三个浓度带。外、中、内浓度带的分带标准，一般是以本矿区各地层、岩浆岩的背景含量为基础，确定异常下限，并考虑各元素浓度范围及变化梯度，以异常下限的1、2、4倍、2、4、8倍或2、8、32倍作为外、中、内带异常。在研究原生晕轴（垂）向组分分带时，为突出各元素在矿体前缘晕、近矿晕、尾晕的差异，对一些元素浓度可不按上述倍数，分为外、中两个带。

组分分带：是原生晕中不同指示元素在空间上有规律的变化现象。组分分带也就是通常所说的原生晕分带。

（2）原生晕组分分带在空间分为轴（垂）向分带、横向分带和纵向分带。

轴（垂）向分带：原生晕沿矿液流动方向的分带，矿体陡倾时，轴（垂）向分带与垂直分带一致；矿体近水平或缓倾斜时，轴（垂）向分带与垂直分带不一致。主要是在含矿热液沿构造裂隙渗流、渗滤作用过程中形成。原生晕轴（垂）向分带是应用原生晕找盲矿的重要研究内容。

横向分带：原生晕在垂直矿体走向上的分带，矿体陡倾时，横向分带与水平分带一致；矿体近水平时，横向分带与水平分带不一致，而与垂直分带一致。横向分带主要是扩散作用结果。

纵向分带：原生晕沿矿体走向上的分带。

（3）原生晕轴（垂）向分带的三种表达方式。

A. 前缘晕、近矿晕、尾晕：是原生晕轴（垂）向分带最常用、最重要的表达方式。是原生晕找盲矿研究的最重要内容。

前缘晕：原生晕中，位于矿液流动方向前锋的部分（矿体的前缘），在矿体轴向前缘可达几百米，是预测盲矿的重要信息和依据。

尾晕：原生晕中，位于矿液来源方向——矿体轴向向深部延伸的部位或矿体的尾部。

近矿晕：在原生晕中，以矿体为中心，随远离矿体元素浓度逐渐降低，即浓度带由内带→中带→外带。

B. 原生晕轴（垂）向分带序列：是原生晕轴（垂）向分带的第二种重要表达形式，轴（垂）向分带序列在盲矿预测中也是重要的研究内容。

在矿体或矿床的原生晕中，按轴向由矿床（体）的前缘晕→头→中→尾→尾晕，对各指示元素晕强度最高位置相对排列的顺序，以矿体的原生晕轴向不同部位（标高）的线金属量为基础，计算原生晕的轴（垂）向分带序列，一般计算结果从上至下为：前缘晕特征指示元素在上，近矿特征指示元素在中间，尾晕特征指示元素在下部。

分带序列的计算方法有多种，常用的是C. B. 戈里格良法和E. M. 克维雅特科夫斯基法[1]。

国内化探专家还研究了很多分带序列的计算方法，如经验法：在矿体原生晕的剖面图上，分别做各元素异常浓度分布图，根据各元素浓集中心在矿体（轴）向的上、中、下位置，确定元素的分带大致序列。

C. 地球化学参数的轴（垂）向变化规律：是原生晕轴（垂）向分带的第三种重要表达方式，是预测盲矿、判别矿体剥蚀程度、建立定量数学模型的重要基础。地球化学参数：可

用前缘晕或尾晕指示元素浓度，标准化累加、累乘或前缘元素浓度/尾晕元素浓度。如单一期次成矿或两个主成矿阶段形成的原生晕近于同位叠加时，其前缘晕特征指示元素 As、Sb、Hg 含量或 As/Bi、Sb/Mo 等，从矿体前缘→矿头→矿中→矿尾→尾晕是逐渐降低。

（二）金矿床的原生叠加晕、构造叠加晕概述

1. 金矿床的原生叠加晕特征

（1）金矿床的原生叠加晕[3,5-7]：金矿床（体）原生叠加晕是金矿多阶段脉动叠加成矿成晕的结果，金矿叠加成矿成晕包括了时间上的多阶段成矿的脉动性、继承性和在空间上的叠加性，即金矿床（体）原生叠加晕是在有相同物质来源、含矿热液成分和形成条件都有继承性变化的多阶段脉动演化所形成的叠加晕，由于每个阶段形成的原生晕在空间上叠加或衔接形式或叠加结构的多样性，所以叠加晕是一种非常复杂的原生晕。

金矿原生叠加晕与多建造晕有共性也有较大差别[1]，多建造晕系指成分与形成条件不同的成矿建造，在空间上重叠或衔接，在结构上非常复杂的原生异常[1]。

（2）原生叠加晕法：研究矿床原生叠加晕特征并用于盲矿预测的方法，称为原生叠加晕法。

（3）原生叠加晕法找盲矿的理论基础：在原生晕找盲矿理论（热液矿床具有明显的轴（垂）向分带，即每次成矿形成的矿体的原生晕都有明显的前缘晕、近矿晕和尾晕）基础上，密切结合成矿理论（即金矿成矿成晕具有多期、多阶段脉动性及不同阶段形成矿体（晕）在空间上有叠加的特点），发展或完善了原生晕找盲矿理论。

2. 金矿床的构造叠加晕特征

（1）构造叠加晕法：研究构造蚀变带中原生叠加晕特征并用于盲矿预测的方法。

（2）构造叠加晕找盲矿的理论基础：是在原生叠加晕找盲矿理论基础上，在方法技术上的发展：根据热液矿床严格受构造控制，构造中矿体的原生晕发育特点是在矿脉上、下盘不发育，而在构造带内强度高、范围大，特别是前缘晕在矿体前缘可达几百米。研究构造中的原生晕轴（垂）向分带及不同期次形成原生晕的叠加结构，只在构造带中采取有蚀变叠加样品，不但可强化晕的强度或盲矿预测信息，而且大大减少采样及分析工作量，提高了工作效率和找矿效果。

（3）金矿床原生叠加晕模式、构造叠加晕模式：是对金矿床（体）原生叠加晕或构造叠加晕特征，即每次成矿形成原生晕的轴（垂）向分带及不同期次成矿形成原生晕在空间上的叠加结构的概括与表达。用模式图表达，附有文字说明。

（4）金矿床构造叠加晕模型，包括构造叠加晕模式（图）和找矿标志，实际是一种找矿模型，是指特定类型的典型矿床（体）或一组相似类型矿床的地质、地球化学特征、构造叠加晕特征、找矿标志及找矿方法的高度概括与表达。

（5）金矿床构造叠加晕理想模型：实际是对热液成因的金矿床构造叠加晕模型的抽象与表达。

（6）金矿床叠加成矿成晕模型，是指对金矿成矿成晕过程机制的研究中，在时间上的演化和空间上的叠加机理高度概括与表达。

二、金矿床（体）原生晕、原生叠加晕、构造叠加晕的发展与创新

（一）原生晕找盲矿法的开创与应用阶段

我国自在20世纪50年代开始，谢学锦、邵跃等专家就进行了原生晕找盲矿试验，50年代末，几乎与前苏联学者同时，各自发现了热液矿床的原生晕具有明显轴（垂）向分带，即每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，矿体的前缘晕向上延伸达几百米，为预测深部盲矿提供了重要的直接信息，也就是原生晕找盲矿的理论基础。开创的原生晕找盲矿新方法，邵跃等首先在甘肃白银厂小铁山和辽宁青城子、关门山等铅锌矿区，谢学锦在广东大宝山试验，都取得了可喜成果[2]。同期，冶金系统以欧阳宗圻为首的化探人员也广泛开展了原生晕找盲矿研究，也取得了令人鼓舞的成果。

（二）原生晕模式、模型研究阶段

20世纪70～90年代地矿、冶金、有色等系统及地质院校的化探专家对原生晕都相继做了大量研究工作，在研究原生晕分带理论基础上，在方法技术研究方面都取得了一系列开创性成果；研究和建立了主要类型有色及金矿床的原生地球化学异常模式和找矿模型，提高了原生晕找矿水平。发表论文已有百余篇，特别是1990～1998年出版了多部专著，有代表性的专著是：1990年由欧阳宗圻、李惠、刘汉忠编著的《典型有色金属矿床地球化学异常模式》（科学出版社），这是冶金系统较系统的研究矿床地球化学异常模式和我国第一部化探模式专著；1991年由李惠编著的《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》（科学出版社）；以张本仁、孙焕振、李善芳等主编的《勘查地球物理勘查地球化学文集》（地质出版社）1～17集都包含有很多矿床原生晕研究成果；1993年赵伦山、吴悦斌、沈镛立著的《基岩地球化学测量方法》（地质出版社）；1996年由地质出版社出版的《中国主要类型金矿床找矿模型》（邹光华、欧阳宗圻、李惠 等著）；1997年由地质出版社出版的《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》（王继伦、李善芳、齐文秀、朱有光、傅祥鳞等著），1997年出版的《热液矿床岩石测量（原生晕法）找矿》（邵跃著，地质出版社），对以邵跃等地矿系统历年来研究原生晕成果作了全面总结。1998年出版的《中国主要类型铜矿勘查地球化学模型》（吴承烈、徐外生、刘崇民 著，地质出版社）。

国际上对原生晕找盲矿研究最多的是前苏联，自20世纪60年代以来，前苏联一直在研究原生晕找盲矿方法，并取得了一系列成果，其中最重要的成果是以戈里格良为首的专家提出了热液矿床原生晕元素组分分带的统一分带序列和计算元素分带指数的方法、评价矿化剥蚀程度的累加晕和累乘晕比值等指标，并取得了好的找矿效果[2]，并提出了一些典型热液矿床的多建造晕概念，但并未见有系统研究成果报道。

（三）原生叠加晕法

随着研究的不断深入，特别是20世纪80年代以来，在研究原生晕找盲矿理论、原生晕的轴（垂）向分带、建立典型金矿床盲矿预测的原生晕模型时，发现有很多矿床原生晕的轴（垂）向分带出现“反常、反分带现象”，用一次成矿或一个主成矿期形成的原生晕分带理论

无法解释，这也是困惑了化探几十年的问题，严重影响了原生晕方法预测盲矿效果的提高。

为解决这一问题，自90年代初开始，李惠在深入研究原生晕分带理论的基础上，密切结合热液矿床成矿理论，即根据金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的观点，发现了不同次成矿形成矿体及其原生晕在空间上的叠加结构，不仅对原生晕轴（垂）向分带出现的“反常及反分带现象”作出了合理解释，而且提取出了更多、更好的找盲矿信息。拓宽了思路，研究了金矿床的叠加晕特征及其在空间上的叠加结构，建立金矿床的叠加晕模型，大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。又通过参加国家黄金地质攻关项目、国家黄金局项目、冶金部项目，与十多个矿山找矿相结合，使原生晕找盲矿法发展为原生叠加晕找盲矿新方法。1993年李惠在“地质与勘探”首次发表了叠加晕论文“热液金矿床的原生叠加晕模式”。

在“八五”国家重点黄金地质科技攻关项目（90051－09）的成果“中国主要类型金矿找矿模型”中，金矿床原生叠加晕模型研究成果是最具突破性成果之一，并载入1986年由地质出版社出版的《中国主要类型金矿找矿模型》（邹光华、欧阳宗圻、李惠 编）[8]。

1994～1998年在首席科学家谢学锦院士和刘光鼎院士支持下，参加国家攀登计划项目，使原生叠加晕方法研究更加系统和完善，总结出了金矿盲矿预测的四种叠加晕理想模型和盲矿预测的五条准则。项目首席科学家、中国化探元老——谢学锦院士及专家委员会专家陈毓川院士、常印佛院士、叶天竺教授等给予了很高评价：原生叠加晕发展了原生晕分带理论，并支持出版了《大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型》（李惠主编，冶金工业出版社，1998），陈毓川院士、常印佛院士和化探专家欧阳宗圻教授为专著写了序。

（四）原生叠加晕法发展为构造叠加晕法

1998年以来，通过参加“96－914”国家攻关项目及在十几个矿山或危机矿山找矿的实践，在研究思路、方法又有新的发展，将原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法——研究构造中原生叠加晕的方法，不但强化了盲矿预测信息，进一步提高了找盲矿效果，而且大大减少了采样数量及分析量。

（五）研究和建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型

20世纪90年代中期，在参加国家攻关项目“90050－10”的课题研究中，李惠、王支农等系统研究了金矿床的离子晕和气晕的特征及其轴（垂）向分带性，根据金矿成矿晕多期多阶段叠加的特点和金矿床气晕和离子晕的分带规律的研究成果，建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，得出了应用包裹体地球化学找金的指示参数及其指示意义，总结出了预测盲矿和判别金矿剥蚀程度的包裹体地球化学标志，开拓出了采用包裹体地球化学找金方法技术，应用模型预测取得了好的效果。

三、金矿床构造叠加晕的研究思路、内容及方法

（一）研究思路、技术关键

研究思路：密切结合热液金矿床成矿理论，以金矿受构造控制，构造活动有脉动性，

金矿成矿成晕具有时间上的多期多阶段叠加和在构造空间上有不同形式的叠加结构为指导思想。据此，不仅研究矿床和不同成矿阶段的元素组合、不同成矿阶段形成矿体（晕）的轴（垂）向分带，而且还要研究不同期次成矿形成矿体及其原生晕在空间上的多种叠加结构（同位叠加、部分叠加或只有前、尾晕叠加等），从已知到未知，建立典型金矿床的构造叠加晕模式，确定盲矿的预测标志，用模式和标志对深部进行盲矿预测。

技术关键：①研究和发现典型金矿床每次成矿形成矿体（晕）轴（垂）向分带规律；②不同阶段成矿形成矿体（晕）在空间上的叠加结构。

（二）典型金矿床（体）的构造叠加晕模型研究内容及方法

1. 成矿的地质背景

区域和矿区：地层、构造、岩浆岩与成矿的关系及矿床成因。重点是研究控矿因素、成矿规律，特别是矿床中矿体在构造中赋存规律（等距性、无矿间隔），侧伏规律－叠瓦式分布等规律，构造中有利成矿部位（是由陡变缓——逆断层，还是由缓变陡——正断层）等等，为应用构造叠加晕对已知矿体深部盲矿定位预测提供依据。

2. 成矿的地球化学背景

（1）研究与成矿有关地层、岩浆岩中成矿及伴生元素背景含量特征，不仅为确定矿源层或物质来源提供依据，而重要的是为叠加晕研究提供确定异常下限的依据，为计算矿床（体）元素衬度提供背景数据。采样要求：采集地层、岩浆岩有代表性的主要类型岩石，要求新鲜、未风化、未受蚀变及矿化叠加。

（2）构造地球化学特征，不同期次构造中元素浓度及组合特征，是评价区域不同构造成矿成晕特征的依据。

3. 矿床地球化学特征

（1）矿床的元素组合、不同矿体元素组合的确定标准：计算矿床（体）（Au≥3g/t）各元素的几何平均值，以各元素的衬度值（几何平均值/矿区背景值）≥2（或3、4、5）为标准，确定元素矿床（体）元素组合。

（2）指示元素在成矿－蚀变过程中，即不同蚀变带的带入、带出、活化转移特点（图、表）。采集不同蚀变带样品，进行多元素分析，与背景含量对比，以确定各蚀变带元素的带入带出。

（3）指示元素在矿物中的分配，确定各指示元素的富集矿物和载体矿物（图、表），根据各种矿物含量比例及单矿物微量元素分析结果概括得出。

（4）不同成矿阶段元素组合特征。根据野外观察矿脉穿插关系、矿物组合，结合镜下矿物交代关系、生成顺序等研究，确定成矿阶段，若前人已划分了成矿阶段则需核实。不同阶段形成矿体元素组合的研究有两种方法：

第一，对不同阶段形成矿体分别采样，多元素分析，以衬度值≥2（或3、4、5）为标准确定元素矿床不同成矿阶段的元素组合；

第二，根据不同阶段矿物组合、各种单矿物成分及其微量元素含量特征，可初步了解各阶段最特征的指示元素含量特征：金矿成矿一般分为四个成矿阶段，第Ⅰ阶段只能形成金矿化，含金通常≤0.5g/t，Ag、Pb、Zn含量很低；第Ⅱ阶段为主成矿阶段，Au含量≥

2～3 g/t，Ag、Cu、Pb、Zn 含量相对较高；第Ⅲ阶段为多金属硫化物主成矿阶段，Au 含量≥3 g/t，以含 Ag、Cu、Pb、Zn 含量相对最高；第Ⅳ为碳酸盐阶段，只能形成弱金矿化，含金≤0.5g/t，以含 Mn 高为特点。以此为标准，据样品分析结果挑出不同成矿阶段的样品，计算各元素几何平均值，以衬度值≥2（或 3、4、5）为标准确定矿床不同成矿阶段的元素组合。

4. 矿床叠加晕轴（垂）向分带特征

（1）计算原生晕轴（垂）向分带序列，计算结果与总结出的中国金矿床原生晕综合分带序列对比，是否属于正常分带，据此分析其叠加结构。

（2）矿床地球化学参数轴向变化特点，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

（3）不同标高单矿物微量元素或参数轴向变化规律，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

（4）不同标高石英包裹体气相、液相成分或参数轴向变化规律，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

5. 矿床（体）构造叠加晕特征研究

采样布置：对所研究和需进行深部预测的每个矿床（体）或矿脉从地表露头、探槽或浅井、深部坑道、钻孔要系统布置采样，以便研究矿体（晕）在空间的轴向构造叠加晕变化特点。

采样方法：在构造或蚀变带内选择有热液叠加部位（强蚀变或强矿化部位）的一定范围内多点采组合样。在走向上采样点距 10～15m。若构造蚀变带厚度大时，在构造蚀变带厚度方向上按 3～4m 采一个组合样品。

前、尾晕特征指示元素的确定：根据叠加晕剖面图、平面图及垂直纵投影图中已知矿体前缘、尾晕各指示元素浓度，确定单阶段形成矿体的前、尾晕特征指示元素。

叠加晕的叠加结构确定：根据前、尾晕特征指示元素浓度在轴向上分布特点，分析叠加晕的叠加结构。

6. 盲矿预测的构造叠加晕模型（找矿模型）

包括构造叠加晕模式（图示）和盲矿预测标志：

（1）构造叠加晕模式用图表示，并有文字说明。图中要展示出单一阶段形成矿体原生晕轴（垂）向分带（前缘晕、近矿晕和尾晕），突出不同成矿阶段形成原生晕在空间上的叠加结构，特别要突出串珠状矿体、已知矿体深部盲矿或第二富集带盲矿体前缘晕与上部已知矿体尾晕的叠加共存特点。

（2）预测盲矿的构造叠加晕标志：根据模式确定具体预测盲矿的构造叠加晕标志和建立定量预测的数学模型。

7. 在矿区深部及外围进行盲矿预测，提出盲矿具体靶位（赋存部位）

8. 验证后需进一步跟踪研究总结、提高

第二章　金矿床构造叠加晕基本特征

一、金矿多期多阶段叠加成矿的基本地质特征

（1）金矿成矿严格受构造控制，构造活动的长期性、间歇性或脉动性及继承性，导致了成矿作用脉动式多阶段性和叠加性，研究热液成矿期的脉动多阶段性和各阶段形成矿体（晕）的特征及其在空间上的叠加结构，不仅是研究金矿原生叠加晕的基础，而且在金矿预测中具有重要实用价值。

（2）金矿成矿的脉动性和多阶段叠加成矿的特点，已被广大研究者所公认，成矿阶段的划分是以野外地质实地从宏观上观测矿脉的互相穿插、包裹、胶结关系，矿物共性组合并结合室内镜下微观的含矿细脉穿插、矿物的交代关系作为依据，进一步还可通过包裹体研究、同位素研究和地球化学研究确定。对同一矿床，由于各研究者取得的资料和依据不同，所划分成矿阶段也有一定区别。通过对胶东、豫陕小秦岭和燕辽等中国主要金矿集中区典型金矿成矿作用的研究表明，金矿成矿一般都分为四个成矿阶段：Ⅰ：黄铁矿－石英阶段；Ⅱ：金－石英－黄铁矿阶段；Ⅲ：金－石英－多金属硫化物阶段；Ⅳ：石英－碳酸盐阶段。其中Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，Ⅰ、Ⅳ阶段不成矿。Ⅱ、Ⅲ阶段形成矿体同位叠加部位往往形成富矿。金矿床四个成矿阶成矿的基本特点见表1－2－1。

（3）石英脉型金矿床四个成矿阶段形成矿体叠加的野外主要识别特征是：

黄铁矿－石英阶段（Ⅰ）：形成白色粗粒石英（>98%），致密块状，形成大石英脉；少量浅黄－白色黄铁矿（<3%），自形粗粒（立方体、五角十二面体），呈团块状分布于石英脉中；含金很低，形不成金矿体，无工业价值。

金－石英－黄铁矿阶段（Ⅱ）：叠加于（穿插）第Ⅰ阶段形成的大石英脉之中，石英呈烟灰－灰白色、中细粒，呈脉状、网脉状或致密块状，黄铁矿呈黄－黄白色、中细粒、呈脉状、网脉状、矿化强时呈致密块状，少量方铅矿和闪锌矿。其前缘细脉往往分布于Ⅰ阶段形成的大石英脉边部。

金－石英－多金属硫化物阶段（Ⅲ）：叠加于（穿插）第Ⅰ阶段形成的大石英脉和第Ⅱ阶段形成的矿脉之中。石英呈烟灰－灰白色、中细粒，呈脉状、网脉状或块状，黄铁矿呈黄－黄白色、中细粒、呈脉状、网脉状、矿化强时呈致密块状，其特点是见有较多的方铅矿和闪锌矿及黄铜矿。

石英－碳酸盐阶段（Ⅳ）：叠加于（穿插）第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段形成矿体的局部。主要由方解石和少量黄铁矿组成。

（4）不同脉动阶段在构造空间上的叠加结构具有多种形式，或具有多样化的叠加结构，即由各阶段形成特有的矿物组合、蚀变组合、矿石结构、构造、矿化类型及其强度、范围等在空间上的叠加。不同阶段形成矿体在空间的叠加可分为同位叠加、部分同位叠

表 1－2－1　内生热液期金矿化的成矿阶段及其主要矿化特征对比表[4]

矿化特征		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	备注
主要矿物	石英	●●●●●	●●●●	●●●	●	● 多少为各阶段相对含量
	黄铁矿	●●	●●●●●	●●●●	●	
	银金矿	●	●●●●●	●●●●●	●	
	黄铜矿		●●	●●●●●		
	方铅矿		●●	●●●●●		
	闪锌矿		●●	●●●●●		
	磁黄铁矿			●●●		
	方解石				●●●●	
矿石结构		中粗粒自形晶	半自形—他形	自形—半自形粒状	中细粒自形晶	
矿石构造		致密块状	致密块状、脉状、网脉状	网脉状、脉状、致密块状	砂包状、细脉状、团块状、星点浸染状	
矿石类型		黄铁矿型	黄铁矿型	多金属硫化物型	碳酸盐型	
成矿温度/℃	均一法	325	280	245	170	
	爆裂法	350	298	260	210	
石英氧同位素组成/‰		12.48	10.48	9.32	-	
黄铁矿硫同位素组成/‰		7.12	7.89	8.39	5.37	
铅模式年龄/Ma		915.97	892.69	862.81	687.55	
矿化强度（相对）		弱	强	较强	弱	
矿化广度（相对）		很广	广	局部富集	零星少见	
分布特征（相对）		矿脉上部	中上部－中部	中部－中下部	下部	
主要围岩蚀变		硅化、绢英岩化	黄铁绢英岩化	黄铁绢英岩化	碳酸盐化	
含金量/10^{-6}		20.63	123.85	191.74	57.87	黄铁矿单矿物
热电系数/（μV·℃$^{-1}$）		$\frac{-322.9}{-22.9\sim-575.9}$	$\frac{-206.0}{-121.7\sim-360.2}$	$\frac{-175.9}{-125.3\sim-294.0}$	$\frac{+161.4}{+26.5\sim+541.0}$	
金的主要赋存方式		包体金	裂隙金（晶隙金）	晶隙金	晶隙金（包体金）	
工业意义（相对）		不具独立工业意义或构成贫矿石	工业矿石	与Ⅱ叠加构成富矿柱	贫矿石或不具独立工业意义	

加和头、尾晕叠加。在部分同位叠加中又可分为顺序上叠式、下叠式及不规律式。

下叠式形成“逆向分带”，有些矿床由于控矿构造在成矿期的多发性和继承性活动及脉动性的构造应力强度逐渐减弱并向深部转移，使不同阶段从早至晚在空间上从上至下有规律的叠加（下叠式），即从上至下，Ⅰ阶段减弱，Ⅱ、Ⅲ阶段依次增强，Ⅳ阶段从无到有，在空间上相邻的两个不同阶段矿化可重叠或部分重叠，形成金矿化在垂向上的脉动“逆向分带”，即矿体上部温度高，下部低。

（5）同一阶段矿化具有明显的沉淀分带性[4]，以第Ⅲ阶段多金属硫化物形成的矿脉为例，从矿脉边部至中心，依次出现石英－黄铁矿－方铅矿－黄铜矿－磁黄铁矿或石英－黄铁矿－磁铁矿组合的水平对称分带，在垂向上从上至下，黄铁矿减少，磁黄铁矿增多，方铅矿减少，而闪锌矿增多，与水平分带有相似的变化规律。

二、金矿多期多阶段叠加成矿成晕的基本地球化学特征

1. 金矿床不同成矿阶段元素沉淀理想模式[6,7]

对典型金矿床不同成矿阶段形成矿体元素组合的研究，是通过对四个成矿阶段（Ⅰ）黄铁矿－石英阶段，（Ⅱ）石英－黄铁矿阶段，（Ⅲ）金－多金属硫化物阶段，（Ⅳ）碳酸盐阶段的地球化学采样和多元素分析，结合不同成矿阶段形成的矿物组合、各矿物占的比例、单矿物中微量元素含量以及不同成矿阶段 Au 及其伴生元素含量比例关系的综合研究，在研究建立典型金矿床不同成矿阶段成矿元素（Au）、伴生元素（Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、Mn 等）、控矿元素（K、Na、Si、Fe）及矿化剂元素（S、F、Cl）的沉淀理想模式的基础上，总结出了热液金矿床不同成矿阶段元素组合沉淀演化规律模式（图 1－2－1），其特点是：

第Ⅰ阶段（黄铁矿－石英阶段）和第Ⅳ阶段（碳酸盐阶段）带来或沉淀的元素很少，Au 含量低 $<1\times10^{-6}$，Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg 含量也很低，第Ⅳ阶段以 Mn 高为特点；Au 及 Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、Mn 等主要是由第Ⅱ、Ⅲ阶段带来，其中 Au、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Co、Ni 在两个主成矿阶段含量相近，而 Cu、Pb、Zn 的高含量则为Ⅲ阶段（金－多金属硫化物阶段）的特征。实际上，金矿床（体）的原生叠加晕的特点及其叠加结构主要决定于第Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段。

2. 金矿多期多阶段成矿成晕的基本特点

已有研究成果（李惠，1989、1991、1993）表明，金矿成矿成晕有下面一些特点：

（1）单阶段形成的单个矿体有明显的地球化学分带结构，即有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕及正常的原生晕垂直分带序列。多次成矿形成的原生晕在构造中全同位或近于全同位叠加时，其前缘晕、近矿晕和尾晕分别相叠加，也具有正常的原生晕垂直分带序列：

金矿床正常原生晕垂直分带序列（李惠，1991）：从上至下是：B—I—As—Hg—F—Sb—Ba→Pb—Ag—Au—Zn—Cu→W—Bi—Mo—Mn—Ni—Cd—Co—V—Ti。

前缘晕特征指示元素组合是：Hg、As、Sb、F、I、B、Ba；

近矿晕特征指示元素组合是：Au、Ag、Cu、Pb、Zn；

尾晕特征指示元素组合：Mo、Bi、Mn、Co、Ni。

上述模式中前、尾晕元素并不是在每个矿床都出现。

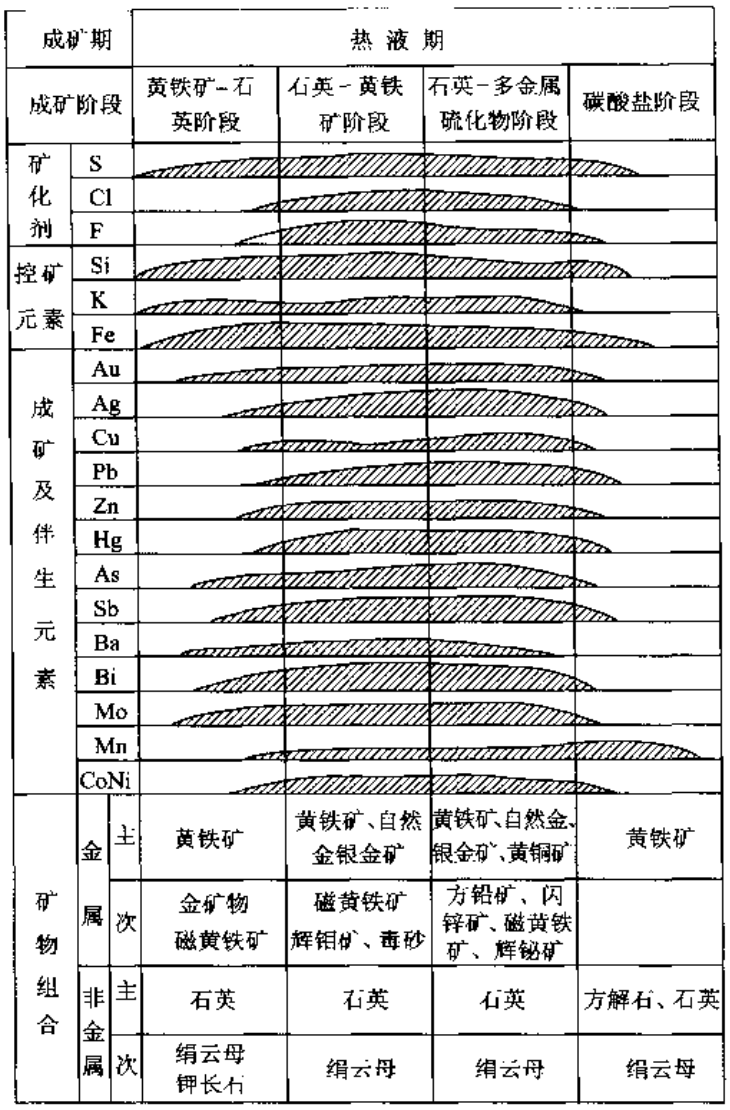


图 1-2-1　热液金矿床不同成矿阶段元素组合沉淀演化规律模式

（2）同一阶段在同一构造体系中形成的串珠状金矿体，有总体的前缘晕和尾晕，但串珠状矿体中每个矿体又有自己的前缘晕和尾晕，如串珠状上、下两个矿体中上部矿体有自己的尾晕，下部矿体又有自己的前缘晕，但其规模小于总体前、尾晕，上、下两个矿体相近时二者往往叠加在一起形成前、尾晕共存。

（3）不同成矿阶段形成的矿体（晕），具有相似的原生晕分带结构，即有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕。

（4）先形成的金矿体及其原生晕，当有后期成矿热液叠加时，成矿元素和伴生元素等往往会发生活化转移，对原来矿体（晕）的分带结构有一定影响，但实际资料表明，这种变化不会破坏原来的分带特点。叠加后的分带是两个阶段的叠加结果。

（5）不同阶段形成的矿体（晕）在构造空间上有多种叠加形式，如同位、部分同位或只有前、尾晕叠加等，形成了金矿原生晕的复杂叠加结构。

三、金矿床的轴（垂）向地球化学参数的叠加结构理想模式及其应用准则

前已述及，单一期次成矿作用形成的矿体具有明显的地球化学轴（垂）向分带，但由于金矿成矿成晕具有多期多阶段叠加的特点，勘探所圈出的矿体都是多期多阶段叠加的结果，由于多期多阶段形成矿体在构造空间上有多种叠加形式，致使很多矿床的地球化学参数轴向分带不明显或多次转折——“无规律”，因此，在研究和总结金矿床单一成矿阶段形成矿体轴（垂）向地球化学参数变化规律的特性和共性的基础上，据金矿具有多期多阶段叠加成矿成晕观点对地球化学参数轴向无规律的实际资料进行分析研究，建立了不同叠加结构地球化学参数轴向变化的理想模式，确定了其用于盲矿预测的准则。

金矿床的分带不仅表现在岩石地球化学异常方面，而且反映在某些矿物（如黄铁矿等）和包裹体地球化学特征上。矿床地球化学参数通常指元素含量的均值、方差、变化系数、衬值以及线金属量、面金属量、元素组合、相关系数、相关指数、元素累乘比、综合分带指数等等。

国内外对金矿床轴（垂）向地球化学参数的变化规律研究较多，特别是20世纪80年代以来，随着金矿化探的发展，研究和积累了大量典型金矿床轴向地球化学参数变化规律的资料及某些典型矿床盲矿预测的定量地球化学指标和数学模型，并总结了其特性与共性（李惠，1990，1991）。随着研究的深入，发现很多金矿体（晕）的地球化学参数轴向变化没有规律，困惑了多年，严重影响了应用地球化学参数定量预测盲矿和准确性的提高。直到90年代初，李惠根据金矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的认识，研究了不同期次成矿形成矿体（晕）地球化学参数轴向叠加结构，不仅对不同金矿床的轴向地球化学参数变化的多样性、特性和共性有了合理的理解和解释，而且对“轴向地球化学参数无变化规律”的矿床，用叠加晕观点去研究找到了规律，并且用于盲矿预测取得了满意的找矿效果。

（一）金矿床地球化学参数轴向变化规律的特性和共性[5-7]

1. 金矿床矿脉中微量元素含量及其比值轴向变化规律的特性和共性

（1）同一成矿带内、同一成因类型、成矿条件相同的金矿具有很多共性，如山东牟乳金矿带的金青顶和邓格庄等典型金矿床，同属混合岩化热液石英脉型金矿成矿条件相同，矿体中很多地球化学参数的垂直变化规律是一致的，且其数值相近，如在矿体头部和上部 $Sb/Bi>2$、$Pb\cdot Zn/Au\cdot Ag>1000$、$Pb\cdot Zn/Mo\cdot Bi>500$、$Bi\cdot Mo/Sb<30$；矿体下部 $Sb/Bi<0.5$、$Pb\cdot Zn/Au\cdot Ag<100$、$Bi\cdot Mo/Sb>80$、$Pb\cdot Zn/Bi\cdot Mo<100$。又如招掖金矿带某些金矿床中 Pb/Zn 比值从上至下都降低，虽然矿体头部都 >1，尾部都 <1，但 Pb/Zn 比值数有一定差异，焦家金矿从上（-30m 标高）至下（-280m），Pb/Zn 由 3.37 至 3.27→2.95→0.96；玲珑金矿 52 脉从上（225m）至下（0m），Pb/Zn 由 2.99→0.92→1.19→0.77。

（2）不同成矿带同一成因类型金矿也可发现一些共性，但其值相差较大。如山东牟乳金矿带和招掖金矿带同属混合岩化热液金矿，两个矿带的典型金矿床中 Pb/Zn 比值，在矿体上部有 >1，下部有 <1 的趋势，但具体数值相差较大。又如内蒙古赛乌素和广西龙水金矿都具有岩浆热液和变质热液成矿特点，Au－Pb 的相关关系在两个矿床都是矿体下部相关程度高，Pb/Zn 比值也是上部高、下部低，其具体数值却不同。虽然有上述共性，但总结不出统一的定量预测指标。

（3）不同成因金矿床所具有垂直变化规律的参数中，专属性多于共性，且其共性参数值相差极大。如 Ag/Au 在吉林夹皮沟、山东牟乳、内蒙古赛乌素有一定共性，矿体中 Ag/Au 从上到下都是逐渐降低，但夹皮沟是从 >1 至 <1，赛乌素是从 >2 至 <1，牟乳金矿是从 >6 至 <1。又如 Pb/Zn 比值在很多矿床都是从上至下逐渐降低，其中山东牟乳金矿、招掖金矿和赛乌素金矿的矿体上部 Pb/Zn >1，下部 <1，而河北东坪金矿 Pb/Zn 上部 >6，下部 <1；广西龙水金矿矿体上部 Pb/Zn >5，下部 Pb/Zn <3。

（4）不同成因类型金矿床中有些参数的垂直变化规律是相反的，如 Pb·Zn/Ag·Au 在牟乳金矿带金矿体中上部 >2000，下部 <100；而赛乌素金矿体中 Pb·Zn/Au·Ag，在矿体上部 <20000，在矿体下部 >60000，与牟乳金矿带相反。

2. 金矿床中某些矿物中微量元素含量及包裹体成分垂直变化规律的特性和共性

研究和统计表明，典型金矿床不同标高黄铁矿和石英中微量元素含量和包裹体成分及其比值都可发现某些参数的垂直变化规律，这些规律中多是特性，但也有共性。其特点与前述金矿床矿脉中微量元素含量、比值的特点一样。同一矿带同一成因类型金矿有较多的共性，不同金矿带同一成矿类型金矿，也有一些共性，但参数值不同。不同成因类型金矿的特性多于共性，在共性中参数值相差也非常大。例如，山东牟乳金矿带的邓格庄金矿和广西龙水金矿为两种不同成矿类型金矿，两个矿床不同标高黄铁矿中微量元素都有一定的垂直变化规律，而且有一定共性，如 As、Mo 在矿体下部黄铁矿中含量偏高，As 在矿体上部黄铁矿中偏高，As/Mo 从上部到下部黄铁矿中其比值降低，但两个矿床上述元素含量或比值的数值相差很大，从矿上部到下部黄铁矿中 As 含量（10^{-6}），在邓格庄金矿从 30→50，龙水金矿从 104→420；As 含量（10^{-6}）邓格庄由 1288→760，龙水由 2447→2000。

（二）矿床地球化学参数轴向变化规律的理想模型

金矿床（体）特别是大矿、富矿的形成，多是多阶段成矿叠加结果，根据矿床地球化学参数轴向叠加特点，可归纳为 A、B、C、D、E、F 等 6 种有代表性叠加结构地球化学参数的轴向变化理想模型（图 1－2－2），并得出了用于其深部预测的准则：

模型 A：为两个主成矿阶段（Ⅱ、Ⅲ阶段）同位或近于同位叠加的模型或理解为单阶段形成的矿体，这两种情况都具有正常的分带结构，即前缘特征指示元素 Hg、As、Sb、B、F 等含量及前/尾晕某些元素比值 a（如 As/Bi、Sb/Bi 等）从上至下逐渐降低。而尾晕特征指示元素 Bi、Mo、Mn、As、Ni 等及尾/前晕元素比值 b 从上至下升高。据这种有规律的变化可得出该区盲矿预测和判别金矿剥蚀程度的地球化学定量指标及数学预测模型（回归模型和各类判别模型）。如广西龙水金矿上、中、下定量预测指标是：Pb/Zn 由 >5→5～3→<3；As·Sb/Au·Ag·100 由 >4→4～1→<1；As·Sb/As·Ni 由 >1.5→

1.5～1→<1。山东金青顶金矿判别剥蚀程度的回归方程模型：Hi = a + b · X，a = 0.148，b = 0.428，X = （Sb/Bi），若将待判别矿体部位的（Sb/Bi）代入方程 Hi = 0.148 + 0.428 · （Sb/Bi）中，计算结果 Hi = 0.5（矿体头部）→0（矿体中部）→ -0.5（矿体尾部）。（Sb/Bi）为两元素含量比值的对数值。

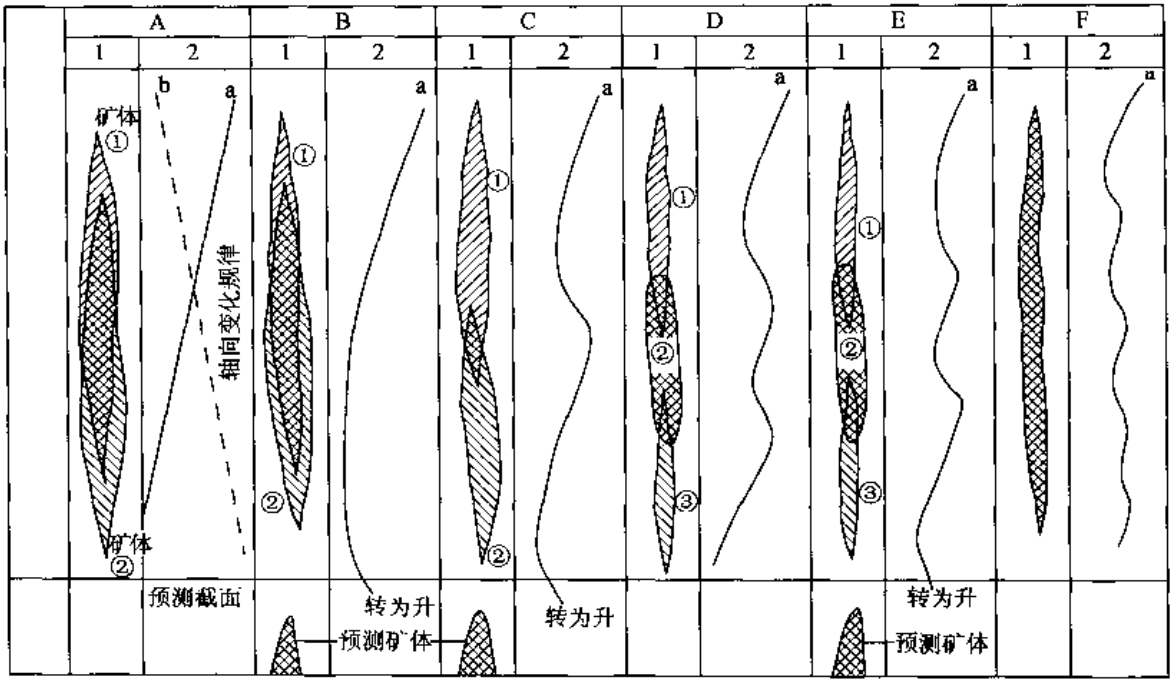


图 1-2-2　金矿床轴（垂）向地球化学参数叠加结构的理想模型图

A、B、C、D、E、F—金矿叠加成矿（晕）的叠加结构类型；①、②、③为不同阶段形成的矿体；1—不同阶段含量段形成矿体①②③的叠加结构；2—地球化学参数的轴（垂）向变化规律；a、b—地球化学参数，a 为前缘晕元素或为前缘晕元素（含量、累加、累乘）/（含量、累加、累乘）；b 为尾晕元素或尾晕元素/前缘晕元素

模型 B：其上部与模型 A 相同，只是在矿尾部 a 线发生了反转，由降→升，为深部盲矿的前缘晕叠加所致，这种转折是深部盲矿预测的重要标志。

模型 C：为两个主成矿阶段形成两个矿体部分叠加情况，a 线为曲线，在两个矿体前缘及头部均为峰值区，在矿体①中下部 a 线又上升，则是下部有另一阶段形成的矿体②头晕叠加的显示，指示矿体向深部还有很大延伸，到②矿体尾部 a 线又转为升则指示深部还有盲矿存在。

模型 D：为 3 个矿体叠加，可视为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段形成矿体自上至下顺序叠加形成①②③号矿体，也可视为第Ⅰ主成矿阶段形成①③串珠状矿体，第Ⅲ主成矿阶段形成矿体②叠加在其间，但每个矿体都有自己的前、尾晕；a 线出现二次转升，三个峰值区，当控制到矿体①中下部时发现 a 线由降转为升，则说明矿体下部有另一阶段形成矿体②头叠加，指示矿体向下还有很大延伸，继续开采到矿体②中下部，计算 a 线又发生转折，指示有矿体③头叠加，则预测矿体向下还有很大延伸。

模型 E：上部与模式 D 相同，只是开采到矿体③尾部标高时，又发现 a 线又升高，指示深部还有串珠状盲矿存在。

模式 F：为多期多阶段反复叠加结果。

（三）叠加晕地球地球化学参数轴（垂）向转折变化规律的应用准则

（1）当计算整个矿体或矿体上半部分的某些地球化学参数时，从上至下，参数 a 由降低又转为升，即发生转折时，则是深部另一阶段形成矿体的头部或前缘的显示，指示矿体向下延伸还很大或预测深部有盲矿存在。

（2）关于建立预测盲矿或判别矿体剥蚀程度的定量预测数学模型的条件：①模型 A、B 的情况下，可确定该矿床深部预测的定量指标、回归方程或多类判别模式等数学模型，作为本区深部预测的定量地球化学指标和数学模型；②在 C、D、E 模型情况下，则难以确定其定量地球化学参数的指标和数学模型。只有根据 a 在第一次转折前的部分，即上部矿体未叠加部分来确定矿体的头、中、尾的预测指标或数学模型，而不能建立整个叠加矿体的定量预测数学模型。

（四）结论

（1）由于金矿成矿的多期、多阶段叠加成矿成晕的特点和空间上叠加结构的多样化，导致了金矿床轴向地球化学参数变化的多样性，即特性多于共性，难以总结出普遍用于金矿预测的地球化学参数指标和数学模型。一般在某矿区总结出来的定量预测指标和数学模式，只局限于在该区深部及外围应用。

（2）金矿床轴向地球化学参数“转折”的盲矿预测准则具有普遍应用价值。

（3）应用上述转折规律进行深部预测已取得较好效果。

（五）应用实例

1. 山东乳山金青顶金矿床

金青顶为一特大型石英脉型金矿床，延深已达千米，有 5 个成矿阶段，其中Ⅲ、Ⅳ为主成矿阶段，图 1－2－3 是金青顶含金石英脉垂向从 +150 ~ －600m 间（垂直深 750m）不同标高地球化学参数变化曲线（属于模式 E 型）。

（1）Au 有 4 个高峰（富矿段）区，其中③最富、最大；

（2）Pb、Zn 也有 4 个高值区，反映了第Ⅳ主成矿阶段——多金属硫化物叠加部位，其中矿体上部叠加最强，Ⅲ、Ⅳ阶段只有多中心同位叠加特点，叠加部位 Au 较富，但并不是正相关关系；

（3）As、Sb 为矿体前缘晕特征指示元素，有 4 个峰值，其中①②③分别为其深部金的②③④富矿体的前缘指示，As、Sb 的第④高值刚上升，指示 －600m 之下盲矿富矿存在，现控制到 －900m 矿还未尖灭。

2. 河南小秦岭杨砦峪特大型石英脉型金矿床

杨砦峪特大型石英脉型金矿床，为 4 个成矿阶段叠加形成，其中Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，Ⅲ阶段为多金属硫化物阶段。在轴向自 1966 ~ 1794m（倾角 45°，倾斜延伸 266m）的地球化学参数变化规律见图 1－2－4。从图可以清楚看出 Au 有两个峰值区，第Ⅲ阶段 Pb、Zn 等主要叠加于矿体中下部。As、Ba、Sb、As/Mo、Ba/Bi、Ag/Au 都是

在矿头部及前缘高，从矿上部至矿中、下部逐渐降低，而到尾部又升高，这些参数的转折都是深部盲矿的显示，指出深部还有盲矿，这种预测已被深部工程所证实，找到了金的第二富集中段。

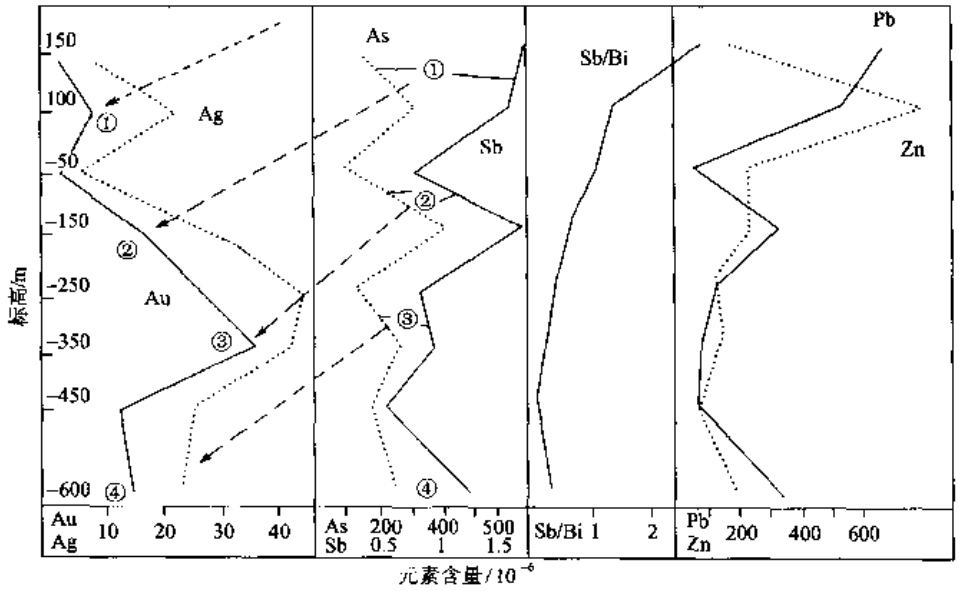


图 1－2－3　山东金青顶金矿床不同标高轴（垂）向地球化学参数叠加变化规律图

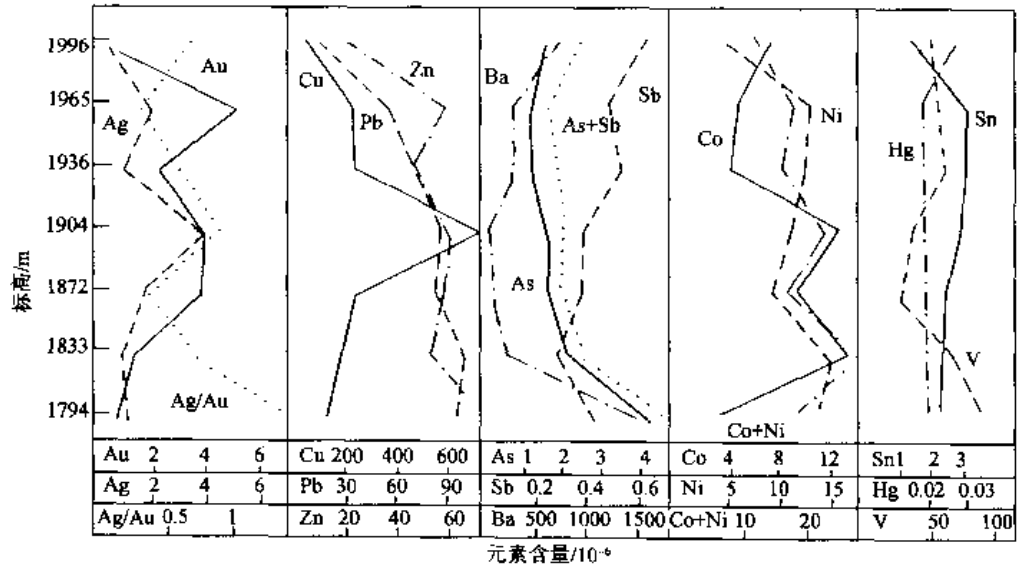


图 1－2－4　小秦岭杨砦峪金矿床不同标高轴（垂）向地球化学参数叠加变化规律图

3. 山东乳山三甲金矿床

三甲金矿为中型石英脉型金矿床，为四个成矿阶段叠加形成。1987 年和 1995 年两次分别对 150 ~ －50m 和 －50 ~ －266m 标高间叠加参数变化规律（图 1－2－5）研究和预测，取得了好的效果：

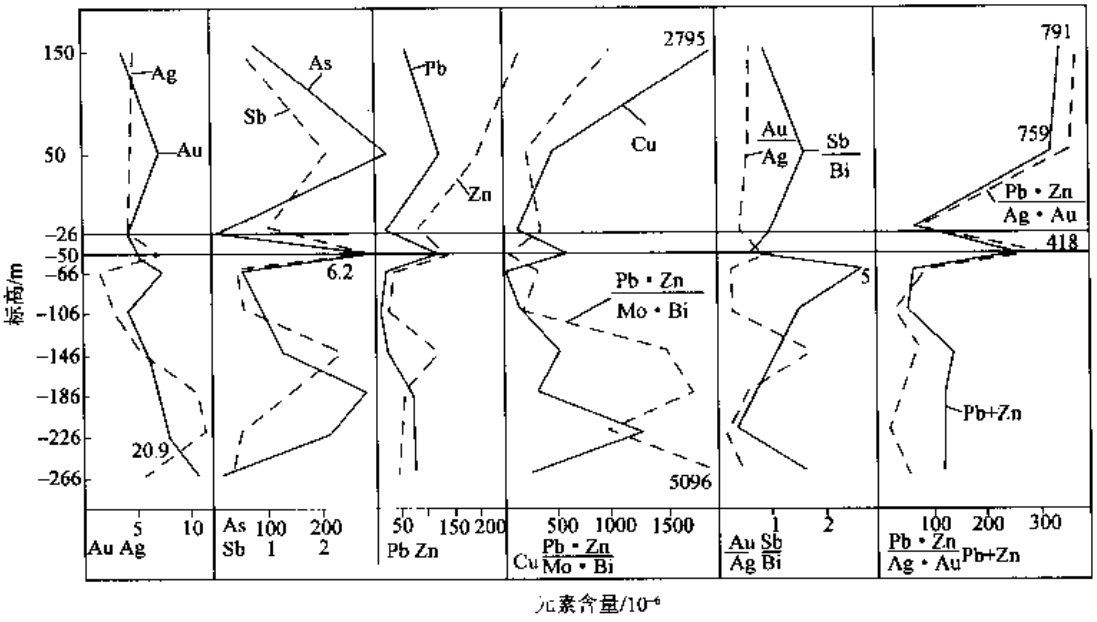


图 1－2－5　三甲金矿含金石英脉不同标高轴（垂）向地球化学参数叠加变化规律图

（1）1987 年研究了标高 150 ~ －50m 间地球化学参数变化规律，Au、Ag、As、Sb、Pb、Au/Ag 有增高趋势，在 50m 标高处出现的 As、Sb、Sb/Bi 高值及较高值的 Ag、Pb、Zn，是下部第二个金富集带的指示，已被 1990 年的勘探所证实。

（2）1995 年又研究了标高 －50 ~ －266m 间地球化学参数变化规律，Au、Ag 有升高的趋势。As、Sb、Au/Ag、Pb ·Zn/Mo · Bi 在 －146 ~ －266m 间出现高值异常及在 －266m 处 Pb、Au/Ag、Sb/Bi、Pb · Zn/Au · Ag 经过几起几落之后有升高的趋势，这些特点都指示深部还有第三个金的富集带，2000 年深部坑道验证见到了深部第三个金的富集带金矿体。

四、金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列、叠加特点及其应用准则

1. 金矿床原生晕综合轴（垂）向分带序列[7,8]

总结了中国 63 个典型金矿床的原生晕轴向分带序列，统计出了中国主要金矿类型、不同规模矿床的原生晕轴（垂）向分带序列的共性和特性，总结出了中国金矿床原生晕轴（垂）向分带序列。根据金矿成矿成晕具有多期多阶段叠加的观点，确定了应用轴（垂）向分带序列预测盲矿的准则。

建立金矿床地球化学异常模式、确定盲矿预测标志的一个重要研究内容是研究和计算典型金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列，它不仅可大致确定矿床的地球化学垂直分带规律、确定前缘晕和尾晕的特征指示元素、为定位预测研究选择矿床具有垂直变化规律的

参数（如元素比值、累加、累乘比等）提供依据，而且可直接用于盲矿预测和矿体剥蚀程度的判别。

国内、外勘查地球化学家对原生晕轴向分带序列的研究做了大量工作，前苏联曾对大量典型金矿床原生晕分带序列进行计算、总结。我国在研究典型金矿床原生晕分带序列中也积累了大量资料，特别是“八五”国家黄金地质科技攻关项目中“我国主要类型金矿床综合方法找矿模型研究”课题的30个专题对63个典型金矿床计算了原生晕分带序列。分带序列计算的方法主要用C. B. 格里戈良的方法（格氏法）和B. M. 克维雅特科夫斯基的方法（克氏法），少数人用自己研究出的简便的方法，其结果与格氏法和克氏法的结果相似。

（1）典型金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列

表1-2-2列出了我国63个不同类型、不同规模典型金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列。应用本矿区（带）典型矿床的轴（垂）向分带序列，确定矿床的前、尾晕特征指示元素最接近实际，并且在本矿区及其邻区进行盲矿预测准确性较高。

（2）不同类型、不同规模金矿床的原生晕轴（垂）向分带序列统计规律（表1-2-3）

不同类型金矿床由于其物质来源不同，矿床的元素组合不同，加之对各矿床测试元素不统一，因此，对各类型及不同规模矿床统计的元素及得出的分带序列中元素也不尽相同；

不同类型、不同规模金矿床的轴（垂）向分带序列的统计规律有很大的共性：地球化学性质活泼性强和具挥发性的Hg、B、F、As、Sb、Ba等元素总是出现在矿体前缘及矿体上部，Ag、Pb、Zn、Cu等元素总是与Au共同出现在矿体中部，而Bi、Mo、Mn、Co、Ni等元素总是出现在矿体下部及尾晕，金矿床这种轴（垂）向分带序列属正向分带序列。在不同类型中绿岩带型金矿与沉积岩型金矿的轴（垂）向分带序列更为相似；

不同类型金矿的轴向分带序列也有一定差异，除元素组合有一定区别外，矿体上部及前缘的指示元素Hg、B、F、As、Sb、Ba，矿体中部的指示元素Au、Ag、Pb、Zn、Cu和尾晕的指示元素Bi、Mo、Mn、Co、Ni的前后排序（据统计概率不同）也有一定差异，其中Pb、Zn在火山-次火山岩类型及矽卡岩型金矿床排序偏于矿体上部，大型、特大型金矿床的Ba的位置比中、小型金矿靠前，中、小型矿床的B偏于在矿体中部。W在多数矿床处于矿体尾部，只有庄官大型金矿一例出现在矿体前缘，而且形成了很好的前缘异常。不同类型、不同规模金矿床的轴（垂）向分带序列是寻找同类型金矿，确定前、尾晕特征指示元素和进行盲矿预测的重要依据之一。

（3）大型、特大型金矿床原生晕轴（垂）向分带序列的特点（表1-2-3、表1-2-4）

大型、特大型金矿床原生晕轴（垂）向分带序列与中小型金矿的轴（垂）向分带序列总体上是一致的，没有本质区别，在每次成矿过程中，Hg、B、F、As、Sb、Ba都是在矿体前缘和上部富集形成异常。Bi、Mo、Mn、Co、Ni等总是出现在矿体下部及尾晕，而Au与Ag共沉淀呈正相关关系，均属正向分带。

表 1－2－2　中国主要类型金矿的典型金矿床原生晕轴（垂）向分带序列

矿床类型			典型矿床	规模	元素垂直分带序列(从上至下)	计算距离 m	资料来源
绿岩带型	花岗质杂岩系有关	石英脉型	山东金青顶	特大	Sb－Pb－Zn－(Hg)－Cu－As－Mo－Au－Ag－Bi③	400	李惠 郑涛 马久菊 刘振昌 刘宝林
					Cu－Pb－Zn－Mo－Sb－As－Ag－Au－Bi①②	700	
			山东邓格庄	大	Zn－Hg－Pb－Ag－As－Sb－Bi－Mo－Cu－Au	200	
					Pb－Ti－Zn－Ag－Mn－Cu－Au－As－Mo－Sb－Bi①	200	
			山东玲珑	特大	Sb－Hg－As－Ag－Te(Mo)－Pb－Cu－Se－Au－Zn－Mn	260	刘汉忠
			山东望儿山	大	Hg－As－Mn－Ba－Cu－Zn－Pb－Au－Ag－(Bi)－Sb－Sr－V－Co－Ni－Mo－Cd－Cr	490	李富国
			辽宁柏杖子	大	As－(Ag,Pb)－Sb－Au－Cr－Bi－Zn－Mn－Co－Cu－Mo－V－Ti	450	初绍华
		蚀变岩型	山东乳山三甲	中	Bi－Ni－Mo－Sn－Co－Sb－W－Zn－As－Ag－Cu－Au③	500	李惠等
			山东蓬莱庄宫	大	Hg、B、W－Sn、Sb、As－Zn、Pb(Mo)、Au、Ag、Cu－(Bi)、Ni、Co、Mn、Ti	200	张文华
			山东焦家	特大	Cu－Zn－Ag－Se－Au－Pb－Te－As－Sb－Ba②	200	李富国
			山东灵山沟五号	大	Au－Cu－Ag－Sb－As－Pb－Zn－Bi－Mo－Mn③	500	李惠等
			山东新城	特大	Hg－F－Ba－Sb－As－Pb－Cr－Cd－Ag－Au－Bi－Mn－V－Zn－Mo－Ni－Co－Sr－Cu	600	李惠等
					Sb－As－Cu－Bi－Au－Ag－Pb－Zn	600	顾留成
			山东河东	大	As－Cu－Ag－Bi－Au－Sb－Pb－Zn	900	
			山东大尹格庄	特大	Sb－As－Cu－Au－Ag－Pb－Zn－Bi	900	
	太古代绿岩有关	石英脉型	河南灵湖	中	As、Sb、Hg、Ba－Ag、Pb、Bi、Au、W、Sn、Cu、Mo－Co、Ni		王定国
			河南杨砦峪	特大	Hg、Ag、Sb、B－Au、Ag、Cu、Pb、Zn－Sn、W、Ti、Mo－Bi、Co、Ni、Mn	200	王支农 李惠
			吉林夹皮沟	大	(Hg、As)－Sb－F－Pb－Ag－Cu－Au－Co－Mo－Ni－Mn		朱太天
					As、Ba、F、Sb－Pb、Ag－Cu、Au－Hg、Mo－Zn、Co、Ni、Mn－I、Sr－Ti、V	330	王文平
			陕西小秦岭王排沟	中	F－As－Hg－Zn－Pb－Ag－Ba－Cu－Bi－W、Mo－Au、Co－Ni、Mn、Cr、V、Ti	260	方维萱
			河北金家庄	中小	F－As－Sb－Zn－Au－Ag－Pb－Mn－Cr－Mo－Cu－Bi－Co－Ni－V、Ti、Sr(Ba)	470	常志民
		角砾岩	河北椴树沟	中小	Hg、Zn－Sb－Ti－As－Mn－Pb－Bi－Cu－Ag－Mo－Au	250	王昌华
		复脉带	河北金厂峪	特大	As－Pb－Sb－Mo－Au－Ag－Cu－W－Zn－Bi	350	李惠等
					As－Sb－Hg－Mo－Zn－Cu－Pb－Au－Ag－Bi		王昌华
		蚀变岩型	陕西胡芦沟	中	F、Hg、As－Zn－Pb－Ag－Ba－Cu－Au－W－Mo－Mn－Ti、Cr、V、Ni、Co	360	方维萱
			河北大营盘	小	As－Sb(Hg)－Pb－Zn－Cu－Au－Ag－Mn(Cr)(V)－W－Mo－Bi－Co－Sr－Ti	120	常志民
			内蒙古东伙房	小	Zn－Ag－As－Cu－Sb－Au－Pb－Mo－Bi－Co－Ni	260	任国栋
			河南上宫	大	(Hg－Sb－Zn)－(Ag－Au－Pb－As－Cu)－(Bi－Mo)	400	古平等
			内蒙古柴胡栏子	小	Au－Mo－Zn－Co－B－Cr－Mn－Pb－Ag－Bi－Cu－Ni－As－Hg－Sb③	180	汤磊、李惠等

续表

矿床类型		典型矿床	规模	元素垂直分带序列(从上至下)	计算距离 m	资料来源
绿岩带型金矿	碱性杂岩有关 石英脉(蚀变岩)	河北东坪	大	上部(石英脉)As－Cu－Pb－Au－Zn－Sb－Ag－Bi－Hg－Mo；下部(蚀变岩)As－Hg－Cu－Pb－Au－Zn－Ag－Sb－Mo－Bi	上部120 下部500	王学方
				(As)－Pb－(Sb)－Ag－Au－Mo－Cu－(Mn)－Zn－Ba－Sr－Ti－V①	300	常志民
	蚀变岩	河北后沟	大	Pb－Zn－Ag－Au－Mo－Cu－Ba－Sr－V－Cr、Ni、Co、Ti	200	
	石英钾长石脉型	内蒙古哈达门沟	大	As－Ba－Sr－Au－Ag－Te－Cu－Pb－Ti－Mn－Sr	600	郑 豪
				Mo－Pb－Au－Cu－W－Cr－Ni－Ba－Bi－Zn－Co－V－Mn－As－Ti	600	王信虎
	石英脉型	内蒙古赛乌素	中	Sb－Hg－Bi－Ag－As－Pb－Ba－Sr－Au－Co－Mo－Ni－Cl－F－Cu－Ti－V－Zn－Cr－Mn－Cd①	250	李惠、任密礼
		内蒙古撰山子	中	Hg－Sb－As－Ag－Pb－V－Ti－Mo－Cu－Zn－Au－Ni		刘克义
岩型金矿 变质碎屑		河南桐柏银洞坡	大	As－Zn－Cd－Au－Ag－Pb－Cu－Mo－Co(Ni)	300	韩存强
		河南桐柏老湾	大	As－Sb－Au－Ag－Cu－Zn－Pb－Ni－Mo	400	
		海南抱板－土外山	大	Sb－Be－Pb－Cu－Zn－Cr－As－Ag－Au－Co－Cd－Ni－Mn－Bi	300	黄木佑
		海南二甲红甫门岭	中	Zn－Cu－Bi－Ag－Au－As－Sb－Pb－Mo－Sn③	300	刘衍汉
		海南二甲北牛	小	Ag－Sb－Bi－Au－As－Zn－Mo－Sn	300	
		广东河台	特大	(Au、Hg、Ag)－Cu－(Bi、Mo)－(Co、Be)－(Ni、Sb、As)③	400	古平等
		广东庞西垌金银矿		Mo－(Ag－Pb－Au－Zn－Cu－Hg－B)－(Co－W)－(Bi－Ni)	400	
		广西龙水	中	Pb－As－Ti、Cl－Sb－Mo－Cu、Ag、V－Ni、Co－Au、Cd－Ba、Mn、Be、Bi－Zn①	200	李富国
沉积岩系金矿		贵州紫木凼、烂泥沟	大	(前缘)Pb、As、Hg、F、Sb(Bi、Zn)－(矿体)Au(Hg、Pb、Mo)－(尾晕)W、Mo、Sn(Cu)	300	冯济舟
		贵州板其、苗龙	大	(前缘)Sb、Bi、As、Hg、Pb、Ba(F、Cu)－(矿体)Au、As(Ag、Sb)－(尾晕)Mo、W、Sn(Cr)		
		贵州丫他	大	(前缘)As、Pb、F(Hg、Sb、Bi)－(矿体)Au(Ag、Hg、Sb)－(尾晕)W、Mo(Cr、Cu、Zn)		
		四川松潘大寨(桥桥上)	中	Hg－As－Au－Sb、W－Zn－Cu－Pb	180	何德润
		四川联合村	中	Hg－Rb－Ba－Pb－K_2O－Cu－Ag－As－Au－Na_2O－Sb－Mo(浅成岩脉)		徐锡华
		四川联合村	中	Ag－Sb－Rb－Hg－K_2O－As－Au－Pb－Na_2O－Ba－Mo－Cu(角砾岩型)		
		甘肃李坝	大	As－Hg－Sb－Ag－Pb－Bi－Au－Cu－Zn－Mn－Ni－Ba－Sr－Ti	350	高珍权
		川西北东北寨	大	Ba、Hg－Ag、Sb、Pb、Ni－As、Au、Bi、S、Cu、Zn－Co、Mo、W	500	赵 琦
		陕西二台子		As－Pb－Ag－Sb－Ba－Au－Zn－Cu－Ni－Co－Mo－Mn		郭瑞栋
		西秦岭若尔盖拉日玛金(铀)	大	Mo－Ag－Hg－V－Ba－Se－Au－Sb－Bi－As－U－Cu－Zn－Ni－W	350	雍朝发
		湘中古台山金(锑)		Sb－As－W－Au－Ag－Cu－Bi－Pb－Zn－Co－Ni	150	何希雄
		桂西北浪金	中小	Hg－As－Sb－Mo－Au－Cu－Mn－W－Co－Ni	200	
		陕西双王	大	Ba、As－Ag－Mo、Sb－Au、Co－Ni、Bi	300	赵中和
		江西修水		(前缘)As、Sb、Hg、Ag－(矿中部)Ag、Hg、As、Sb、Au、W－(尾部)Zn、Co、Ni、Bi	320	徐凤山

续表

矿床类型		典型矿床	规模	元素垂直分带序列(从上至下)	计算距离 m	资料来源
火山-次火山岩型金矿床	爆破角砾岩	河南祁雨沟	大	Zn-Mn-Pb-Ag-W-Cu-Au-Bi-Mo-Sn	450	王福贵
	石英脉	河南康山	大	Hg-Pb-As-Sb-Zn-Ag-Au-Cu-W-Bi-Mo-Co-Ni	300	郭瑞栋
	蚀变岩	河南星星印	大	As-Sb-Ag-Au-Mo-Pb(Zn)-Cu(Bi)		
		新疆马庄山		Hg-Zn-Mo-Pb-As-Ag-Au-Co-Ni-Cu-Bi-Mn	200	贾锡江
		甘肃南金山	小	Hg-Sb-B-As-Mo-Cu-Ag-Au-Zn-Pb-Co-Ni-Mn	200	
		甘肃小宛南山	小	Hg-As-Sb-Ag-Zn-Au-Pb-Cu-W-Mo-Sn(Bi)	300	林玉飞
		浙江银坑山	大	Ag-Au-Pb-Zn-Cu-Mo-Sn		周俊法
		云南老王寨 老王寨矿床	特大	Ni-Zn-As-Pb-Sb-Hg-Au-Cr-Cu-W	500	李丽辉
		云南老王寨 冬瓜林矿床		Zn-Hg-Pb-Ag-Sb-W-As-Au-Cu-Ni-Cr③	500	
		云南老王寨 库独木矿床		Zn-Ni-Sb-Pb-Cr-Hg-Au-As-Cu-W	150	
矽卡岩型金矿床		鄂东鸡冠嘴金、铜	大	Ba-Sb-As-Sr-Pb-Ag-Au-Cu-Mo-Mn-Co-Ni		熊继传
				As-Sb-Ba-Ag-Au-Cu-Mo-Co-Ni-W		苏欣栋
		鄂东鸡笼山金、铜	大	(Hg、As、Sb、Pb、Zn)-Au、Cu、Ag-Co、Ni、Mo、W		

注:表1-2-2中:①据矿体不同标高元素平均值计算垂分带序列;②出现"反分带",已被证实深部或侧下方有盲矿体或矿体向下延伸很大;③预测深部有盲矿或矿体向下延伸很大。

表1-2-3 中国金矿主要类型及不同规模矿床原生晕轴(垂)向分带序列统计规律表

项目		矿体前缘及上部→	矿体中部→	矿体下部及尾部
矿床类型	绿岩带型(7)	B-As-Hg-F-Sb-Ba-	Ag-Pb-Au-Zn-Cu-	Bi-W-Mo-Mn-Cd-Cr-V、Ti-Co-Ni
	变质碎屑岩型(5)	As Sb-	Pb-Cu-Ag-Ba Au-Zn-	Cd-Bi Co-Mo Ni-Mn V
	沉积岩型(13)	F-As-Hg-Sb-Ba-	Ag-Pb-Au-Cu-Zn-	Bi-Ni-W-Mo-Mn Cu Ti V Cr
	火山-次火山岩型(10)	Hg B Sb-As-Pb-	Zn-Ag-Au-Cu-	W-Mo-Ni-Cr-Bi Mn Co
	矽卡岩型(3)	Hg As Sb Ba Zn-	Pb-Ag Au Cu-	Mo W Mn Co Ni
矿床规模	特大+大型(37)	Hg F B-As-Sb-Ba-	Pb-Zn-Ag-Au-Cu-	Cr-Bi-Mo-W-Ti-Ni-Cd-Mn-V-Co-Sr
	特大型(9)	Hg F B Sb Ba-As-	Pb-Ag-Zn-Au-Cu-	Cd-Mo-Bi-Ni Ti Cr-Mo Co W V
	大型(28)	Hg F B-As-Ba-Sb-	Zn-Pb-Ag-Au-Cu-	Cr-W-Bi-Mn-Mo-Ni-Co V Ti Cd Sr
	中型(9)	Hg As-Sb-F-	Ag-Ba-Au-Pb-Cu-Zn-	Cd-Bi-W-Mo-V-Ti-Co-Ni-Mn Sr
	小型(8)	Hg F B-As-Sb-	Ag-Pb-Au Ba-Zn-Cu-	Mo-Bi Mn Co Ni W V Ti Cd Sr Cr
综合分析序列(58)		B-As-Hg-F-Sb-Ba-	Pb-Ag-Au-Zn-Cu-	W-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co V Ti

表 1-2-4　中国主要类型金矿大型、特大型金矿床原生晕轴（垂）向分带序列统计规律表

矿床类型	规模		矿体前缘及上部→	矿体中部→	矿体下部及尾部	矿床数
绿岩带型	胶东	特大	Hg F As Sb Ba –	Ag – Au Se Te Pb – Zn Cu Cd –	Mo – Bi Mn Co Ni V Sr	3
		大	Hg B As Ba – Sb – (W) –	Ag – Au Cu – Pb Zn –	Mn – Bi – Mo – Co Ni V Ti Cd	4
		特大 + 大	Hg F B As Ba – Sb – (W) –	Ag – Pb – Au – Cu – Zn –	Mn – Bi – Mo – Cd – Co Ni V Ti Sr	7
	华北地台（含胶东）	特大	Hg F B As Sb Ba –	Pb Ag Au(Se Te) – Zn – Cu – Cd –	Mo – Mn – Bi – Ti – Co W Ni V Sr	6
		大	FB – As – Hg – Sb – Ba – (W)	Ag – Pb – Au – Zn – Cu –	Mn – Sr – Bi – Mo – Co – Ni V Ti Cd	13
		特大 + 大	Hg F B As – Sb – Ba –	Ag – Pb – Zn – Au – Cu – W –	Mn – Mo – Bi – Cd – Ti – Co Ni V Sr	19
		中	Hg As Sb – F –	Ba – Bi – Ag – Au Pb – Cu – Zn –	W – Mo – Cd – Ti V – Mn – Co Ni	5
		小	Hg F As – Sb –	Pb – Ag – Au Ba – Zn – Cu –	Mo – Bi – Mn Co Ni W V Ti Sr	4
变质碎屑岩型	大		As – Sb – Be –	Pb Zn Cu – Au Ag –	Cd – Bi Mo Mn Co Ni	3
沉积岩型	大		F – As – Hg Sb –	Ba – Pb – Ag – Zn – Au – Cu –	Bi – Mo – Ni – Mn Co W V Ti	6
火山－次火山岩型	特大		Hg Sb Pb Zn Ag – As –	Au Cu – Ni –	W Cr	3
	大		Hg As Sb – (Mn) –	Pb – Zn Ag – Au Cu	W – Mo – Bi Co Ni	4
	特大 + 大		Hg Sb – As – (Mn) – Pb – Zn	Ag – Au – Cu –	W – Ni – Mo – Bi Co	7
矽卡岩型	大型		Hg As Sb Ba Zn –	Pb – Ag Au Cu –	Mo W Mn – Co Ni	3
综合分带序列			B – As – Hg – F – Sb – Ba –	Pb – Ag – Au – Zn – Cu –	W – Bi – Mo – Mn – Ni – Cd – Co V Ti	58

注：表 1-2-3、1-2-4；①Hg、As、Sb 间没有横线表示概率相等；②矿床规模按：特大型：50～100t、大型：20～50t、中型：5～20t、小型：<5t；③统计时具有反分带（预测深部有盲矿或深部已被证实有盲矿）的矿床不参加统计；④统计概率在轴向上分上、中、下三部分，统计各元素在其出现矿床数中的概率。表 1-2-3 中“金矿类型及规模”项括号中数字为矿床数。

（4）中国金矿床原生晕综合轴（垂）向分带序列

通过对 58 个典型金矿床原生晕轴（垂）向分带序列的概率统计，得出了中国金矿床的原生晕综合轴（垂）向分带序列，从上至下是：

B—I—As—Hg—F—Sb—Ba → Pb—Ag—Au—Zn—Cu →W—Bi—Mo—Mn—Ni—Cd—Co—V—Ti

矿体前缘及上部　　矿体中部　　矿体下部及尾晕

2. 金矿床原生叠加晕轴（垂）向分带特点与“反分带”序列

金矿的成矿（晕）具有多期多阶段叠加成矿（晕）的特点，每一次成矿（单阶段）形成矿体（晕）都有自己的前、尾晕，属正向分带。不同成矿阶段形成矿体（晕）在空间上的叠加结果，会使分带序列计算受到一定影响，甚至出现“反（向）分带”或“逆向分带”，即特征的前缘晕指示元素 Hg、As、Sb 等出现在矿体中部或下部，特别是大型、特大型金矿、富矿是由多期多阶段叠加形成的，往往会出现“反分带”。

多期多阶段叠加形成的“反分带”反而构成了用来预测深部盲矿的重要依据，如金

青顶特大型金矿，1987 年勘探深度 400m，研究表明，其轴向分带序列从上至下是：Sb—Pb—Zn—Hg—Cu—As—Mo—Ag—Au—Bi，其中 Hg、As 偏于中部，出现“反分带”，结合异常预测矿体向下延伸应很大；1989 年勘探证实矿体延深 700m 还未尖灭，此时又计算了 700m 以上矿体的分带序列，从上至下：Cu—Pb—Zn—Mo—Sb—As—Ag—Au—Bi，其中 Sb、As 依然出现在中下部，指示深部叠加形成的矿体刚露头，矿体向下延伸还很大，目前已控制矿体向下延伸近 1000m。又如灵山沟大型金矿床垂深近 500m，其分带序列从上至下是：Au—Cu—Ag—Sb—As—Pb—Zn—Bi—Mo—Mn，其中 Sb、As、Pb、Zn 都偏于中下部，异常中又出现了另一个矿体的头晕，指示该矿向深部还有很大延伸。东坪金矿上部为石英脉型，向下过渡为蚀变岩型金矿，分上、下两段计算分带序列，上部石英脉型从上至下为 As—Cu—Pb—Au—Zn—Sb—Ag—Bi—Hg—Mo，其中 Sb、Hg 偏下（“反分带”），指示了下部矿体的存在，但对下部矿体计算的分带序列从上至下：As—Hg—Cu—Pb—Au—Zn—Ag—Sb—Mo—Bi 中 Sb 仍偏下，可能预示向下还有盲矿存在。

3. 原生晕轴向“反分带”序列是预测盲矿的重要标志

在研究金矿床原生晕轴（垂）向分带序列中，发现很多矿床的原生晕轴（垂）向分带序列并不正常，B、As、Hg、F、Sb、Ba 等特征前缘晕指示元素出现在分带序列的中部或下部或尾部，与上述统计总结的中国金矿床原生晕综合轴（垂）向分带序列相比，出现了“反常或反分带”序列，根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的观点分析，则是深部盲矿体前缘晕的叠加结果，“反常或反分带”序列是深部盲矿的重要标志，据此确定了预测盲矿的“反分带”准则：

（1）矿体深部未完全控制时，计算其轴向分带序列出现“反常或反分带”，指示矿体向下延伸还很大。

（2）矿体已控制到尾部或矿山对探明矿体已采至根部，计算其轴向分带序列，出现“反常或反分带”，则指示深部还有盲矿或深部还存在金的第二富集带（盲矿体）。

4. 结论

（1）金矿具有多期多阶段叠加成矿（晕）的特点，在空间上单阶段形成矿体或不同阶段近于同位叠加形成的矿体（晕）具有正向分带特点，不同成矿阶段形成矿体（晕）部分或只有头、尾晕叠加，则形成“反常或反分带”。大型、特大型金矿多是由多期多阶段叠加成矿（晕）的结果，实际计算某一剖面的原生晕轴向分带往往会出现“反常或反分带”，利用“反分带”进行盲矿预测已取得了很好的效果。

（2）不同类型、不同规模金矿床如是一次成矿或同位或近于同位叠加的矿体的原生晕正常轴（垂）向分带序列都是正向分带，而且具有很大的相似性。

（3）统计得出了中国金矿床的原生晕综合轴（垂）向分带序列，是共性或普遍规律，是研究典型矿床轴向分带序列的重要标志序列。

（4）原生晕轴（垂）向分带序列计算中的一些问题：对同一金矿床，参加计算的标高数不同计算结果有差异；参加计算的元素数不同计算结果有差异，对各元素取值方法不同计算结果有差异；由于不同标高对各元素原生晕范围的工程控制程度不同，而造成的取值范围不同，若以不同标高各元素线金属量为基础，则难以计算出不同标高各元素统一的、全部或实际的线金属量，其计算结果必然会受到影响。尽管如此，但总体看所收集到

的典型金矿床的原生晕轴向分带序列，还是能在总体上定性地反映了金矿床的轴（垂）向分带特点。

63 个典型金矿床原生晕轴向分带序列资料主要来源于：①邹光华、欧阳宗圻、李惠、周庆来等著编的《中国主要类型金矿床找矿模型》、《中国主要类型金矿床找矿模型论文集》（地质出版社，1997）；②李惠著编的《石英脉和蚀变岩型金矿床的地球化学异常模式》（科学出版社，1991）；②李善芳、孙焕振主编的《勘查地球物理地球化学文集》第11集、14集（地质出版社，1990，1992）；④《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所刊》2～6号（地质出版社，1987～1995）；⑤中国地质学会勘查地球化学专业委员会主编的《第一、二、三、四、五届勘查地球化学论文集》（1981～1993）。

五、金矿床（体）原生晕的前晕、尾晕叠加共存及其应用准则

前已述及，金矿床形成具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点，每一次成矿形成的原生晕都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，不同期次成矿形成矿体的原生晕在空间上有多种叠加结构，如同位叠加、部分同位叠加，当下部矿体前缘晕叠加到上部矿体的尾晕上，则形成了前、尾晕共存。同一成矿阶段形成的串珠状上、下两个矿体也各有自己的前缘晕和尾晕，当上、下两矿体相近（<200m）时，则下部矿体的前晕与上部矿体的尾晕叠加共存；若下部矿体头部叠加在上部矿体的中部或下部，则其前缘晕与上部矿体的尾晕也叠加共存。

前、尾晕共存的指示意义：若是在已知矿体中部或下部出现前、尾晕共存，指示矿体向深部延伸还很大；在已知矿体尾晕中出现前、尾晕共存，指示深部还有盲矿存在。

第三章　金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕理想模型

国内外地球化学家对包裹体地球化学的研究主要集中于解决成矿机理方面，如研究成矿溶液的成分和成矿环境等方面，20 世纪 90 年代以前，用于直接找矿的研究较少，仅研究过蒸发晕、热晕及红外光谱测定 H_2O 和 CO_2 相对光密度在找金中的应用等。

自 90 年代以来作者研究了区分含金与不含金石英脉的包裹体地球化学标志，重点是研究寻找盲矿和判别金矿剥蚀程度的包裹体地球化学标志，即研究石英脉或蚀变带地表含金只有 0. *ng*/t，其深部是否有盲矿；开采矿山已知矿已采完，但最下一坑道还见有石英脉或硅化蚀变带，其深部是否还有第二个金的富集中段等。

在参加国家攻关项目“90050－10”的课题研究中，李惠、王支农等系统研究了金矿床的离子晕和气晕（石英包裹体内，下同）的特征及其垂直分带性，根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的特点和金矿床气晕和离子晕的分带规律的研究，建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，得出了应用包裹体地球化学找金的指示参数及其指示意义，总结出了预测盲矿和判别金矿剥蚀程度的包裹体地球化学标志，开拓了采用包裹体地球化学找金方法，应用模型预测取得了好的效果[7]。

从研究典型矿床入手，总结规律，建立模型，然后用模型进行预测。技术关键是研究和发现典型金矿床的包裹体气晕、离子晕垂直分带规律，即矿体前缘、矿头、矿中、矿尾的包裹体气晕、离子晕特征成分及不同期次成矿形成矿体的包裹体气晕、离子晕的叠加结构。

研究典型矿床有：①山东招掖金矿带的焦家、新城、三山岛、河东、河西、上庄、蚕庄等大、中型蚀变岩金矿，玲珑、郝家沟、苏家店、灵山沟、旧店、盘马等大、中型石英脉金矿；②山东牟乳金矿带：金青顶、邓格庄、三甲、金牛山等石英脉金矿；③河北张宣地区的东坪、后沟、张全庄、南冷沟、北沟、金家庄等；④广西龙水金矿；⑤内蒙古赛乌素金矿；共计 20 多个金矿床，规模既有大、中型，也有小型或矿点，在类型上即有石英脉型，又有蚀变岩型金矿。共采取石英单矿物样 330 件，标本磨双面光薄片 454 件，采用红外光谱测定石英包裹体中 H_2O 和 CO_2 相对光密度平均值（$\bar{D}_{H_2O}$、$\bar{D}_{CO_2}$），用气相色谱分析石英包裹体中气相成分：H_2O、CO_2、CH_4、N_2、H_2、CO，用离子色谱分析石英包裹体内液相成分中 F^-、Cl^-、SO_4^{2-}、Mg^{2+}、Ca^{2+}、K^+、Na^+，用爆裂仪测爆裂温度及脉冲数，用加热台测均一温度。共取得分析测试数据 5000 余个，所有分析都由中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所（协作单位）完成。

一、典型金矿床不同成矿阶段包裹体成分的变化规律

1. 山东牟乳金矿带金青顶金矿的成矿阶段及不同成矿阶段包裹体成分特征

金青顶为特大型石英脉金矿，根据其成矿特点可将该矿床成矿作用分为五个成矿阶

段：Ⅰ－钾长石化阶段；Ⅱ－绢云母化阶段；Ⅲ－石英黄铁矿阶段；Ⅳ－石英多金属硫化物阶段；Ⅴ－石英－磁黄铁矿－铁白云石阶段。其中Ⅲ－Ⅳ阶段为主成矿阶段，其余各阶段不成矿。不同成矿阶段包裹体成分特征是：

（1）红外光谱特征（表1－3－1）是：CO_2 相对光密度 $\bar{D}_{CO_2}$，从第Ⅰ阶段到第Ⅳ阶段由 1.26→0.97→0.62→0.45 依次降低。水的相对光密度 $\bar{D}_{H_2O}$ 由第Ⅰ到第Ⅳ阶段由 4.36→5.09→6.93→7.03 逐渐升高，$\bar{D}_{H_2O}/\bar{D}_{CO_2}$ 由第Ⅰ阶段到第Ⅳ阶段逐渐升高。

表1－3－1　金青顶金矿床Ⅰ-Ⅳ成矿阶段红外光谱特征

成矿阶段	$\bar{D}_{CO_2}$	$\bar{D}_{H_2O}$	$\bar{D}_{H_2O}/\bar{D}_{CO_2}$	样数
Ⅰ	1.26	4.36	3.5	19
Ⅱ	0.97	5.09	5.2	20
Ⅲ	0.62	6.93	11.2	15
Ⅳ	0.45	7.03	15.6	4
矿区总平均	0.95	5.38	5.66	共58件

表1－3－2　金青顶金矿床不同成矿阶段包裹体气相成分及比值含量/（10^{-6}）

阶段	H_2O	CO_2	CO	CH_4	H_2	H_2O/CO	H_2O/CH_4
Ⅰ	1066	52.2	1.92	0.40	0.14	555	2515
Ⅱ	1001	51.7	3.44	0.545	0.167	291	1836
Ⅲ	685	3.95	3.95	1.56	0.395	173	493
阶段	H_2O/H_2	CO_2/CO	CO_2/CH_4	CO_2/H_2	$(H_2O+CO_2)/(CO+CH_4+H_2)$		样数
Ⅰ	7185	27	130	373	455		15
Ⅱ	5994	15	95	310	253		18
Ⅲ	1734	1	3	10	117		2

（2）包裹体气相成分特征（表1－3－2）是从早到晚 CO_2、H_2O 逐渐降低，而 CO、CH_4、H_2 逐渐升高，第Ⅰ、Ⅱ阶段 H_2O、CO_2 高于第Ⅲ阶段的几至几十倍，CO、CH_4、H_2 第Ⅲ阶段明显高于第Ⅰ、Ⅱ阶段。从不同成矿阶段各气相成分比值可以看出：从第Ⅰ至Ⅲ阶段 H_2O/CO、CO_2/CO、H_2O/CH_4、CO_2/H_2、H_2O/H_2、CO_2/CH_4 等都降低，而且第Ⅰ、Ⅱ阶段明显高于第Ⅲ阶段，CO_2/CO 反映了早期氧化程度高于晚期。

（3）离子成分特征（表1－3－3）是从第Ⅰ至第Ⅲ阶段 Cl^-、Na^+ 减少，F^-、SO_4^{2-}、

表1－3－3　金青顶金矿床不同成矿阶段包裹体中离子成分及比值（g/L）

阶段	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Ⅰ	0.582	17.5	6.55	18.41	12.99	7.77	1.93
Ⅱ	0.906	14.2	12.6	20.6	11.86	4.53	2.48
Ⅲ	0.84	2.42	29.4	16.6	7.03	6.067	2.85
阶段	Cl^-/F^-	$\frac{F^-+Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{K^+}{Na^+}$	$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$	$\frac{K^++Na^+}{Ca^{2+}+Mg^{2+}}$	$\frac{K^++Na^++Ca^{2+}+Mg^{2+}}{Cl^-+F^-+SO_4^{2-}}$	
Ⅰ	30	2.8	1.4	4	3.2	1.7	
Ⅱ	16	1.2	1.7	1.8	4.6	1.4	
Ⅲ	3	0.1	2.4	2.1	2.6	1.0	

Mg^{2+}增加，第Ⅰ、Ⅱ阶段 Cl^-、K^+、Na^+明显高于第Ⅲ阶段，而第Ⅲ阶段 SO_4^{2-}明显高于第Ⅰ、Ⅱ阶段，从第Ⅰ至第Ⅲ阶段 Cl^-/F^-、$(F^- + Cl^-)/SO_4^{2-}$逐渐降低，$(K^+ + Na^+)/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$比值第Ⅱ阶段高于第Ⅰ、Ⅲ阶段，$K^+/Na^+$比值则第Ⅱ、Ⅲ阶段高于第Ⅰ阶段。

综上所述，金青顶金矿第Ⅰ阶段 D_{CO_2}高，气相成分中 H_2O、CO_2 高、离子成分中 Cl^-、Na^+/Ca^{2+}高，SO_4^{2-}、F^-、CO、CH_4、H_2 低，第Ⅱ阶段 H_2O、CO_2、Cl^-、Na^+稍低于第Ⅰ阶段，而明显高于第Ⅲ阶段，第Ⅲ阶段以 SO_4^{2-}、CH_4、H_2 含量高为特点，而 H_2O、CO_2、Cl^-、Na^+明显低于第Ⅰ、Ⅱ阶段。

2. 小秦岭金矿田矿床不同成矿阶段的包裹体成分变化规律

小秦岭金矿田金矿成矿作用大体也分为四个成矿阶段。Ⅰ：黄铁矿－石英阶段；Ⅱ：石英－黄铁矿阶段；Ⅲ：多金属硫化物阶段；Ⅳ：石英碳酸盐阶段，其中Ⅰ、Ⅳ阶段不成矿。栾世伟等（1989）研究了不同阶段包裹体成分特征（表1－3－4）得出，第Ⅰ成矿阶段含矿热液中 CH_4 高，第Ⅲ阶段次之，第Ⅱ阶段最低；从早到晚包体中 CO_2 逐渐降低，CO 含量有增高趋势。

对比上述两个矿田的两个典型矿床不同阶段包裹体成分变化共性和特性可以得出：从早到晚包裹体中 CO_2 逐渐降低，CO 含量升高。其他成分如 CH_4 金青顶从Ⅰ至Ⅲ升高，而小秦岭下降。

表1－3－4　不同成矿阶段中 CH_4、CO_2、CO 的含量（%）

成矿阶段	CH_4	CO_2	CO
Ⅰ	0.257	97.37	0.0134
Ⅱ	0.0696	95.53	0.00664
Ⅲ	0.108	78.43	0.0217
Ⅳ	0.0849	55.38	0.0351

注：武汉地质学院测定，1987。

二、典型金矿的蒸发晕、热晕特点

1. 典型金矿的热晕特点

通过赛乌素金矿区四条典型含金石英脉三度空间石英均一温度的研究得出：

（1）含金石英脉赋矿部位形成温度高于矿化（金不够工业品位）部位，一般赋矿部位均一温度＞210℃，而矿化部位较低（＜180℃）。

（2）含金石英脉体在走向上，由脉中部向两端尖灭处，温度逐渐降低（＜180℃），矿化也随之减弱。

（3）在垂向上，由于该区石英脉已处于中等剥蚀，一般石英脉向深部延伸只有 150～250m，矿体一般也都出露地表，向深部矿化减弱。由地表富矿部位向深部石英脉尖灭部位石英均一温度逐渐降低（从＞210℃到＜180℃）。

（4）含金石英脉体内横向温度变化是由脉中心至边缘，温度从＞210℃到＜180℃。

赛乌素含金石英脉的热晕表明，热晕以石英脉中富矿部位为中心，向上、向下、向两侧、沿脉体走向、向两端尖灭处温度都是逐渐降低。

2. 典型金矿的蒸发晕特点

在金矿形成过程中，含金热液沿裂隙构造充填，渗滤和向围岩扩散交代，随着物化条件的变化，各种矿石矿物、脉石矿物和围岩中蚀变矿物逐渐形成，同时也在矿物中形成了大量原生和次生包裹体，这些包裹体随远离成矿裂隙中心而逐渐减少，即形成了蒸发晕。

图 1－3－1 是长剖面穿过龙水破碎带硫化物型和石英脉型金矿带的蒸发晕，该图是采用全岩爆裂累积脉冲数做成的，蒸发晕清楚的反映了龙水金矿区（带）的宽度，背景的累积脉冲数为200，异常下限为300，矿带上异常在4000～30754间跳动，明显反映了矿化带部位，右边花岗岩背景脉冲数在4000～7000间变化，但很平稳，与矿化带有明显区别。

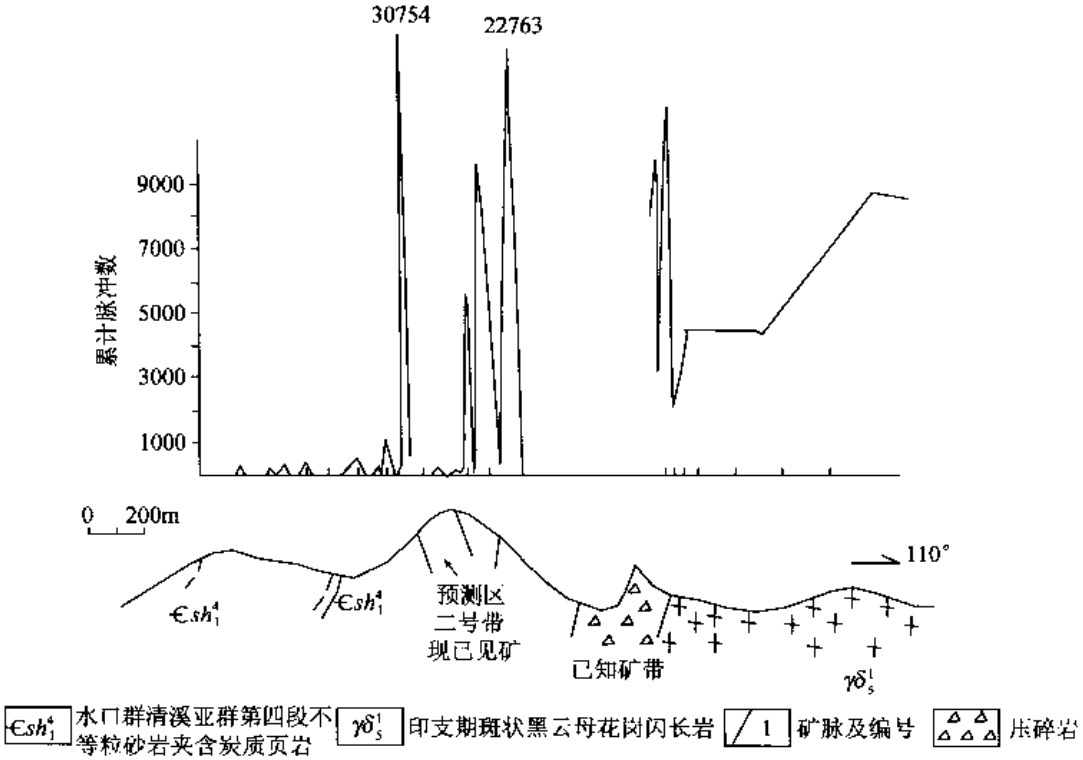


图 1－3－1　广西龙水金矿长剖面蒸发晕

图 1－3－2 是胶东牟乳金矿带邓格庄和三甲金矿脉不同标高石英爆裂累积脉冲数异常的垂直纵投影图。邓格庄为大型石英脉型金矿，地表石英脉中圈不出矿体，为盲矿，石英爆裂累积脉冲数在4087～15686之间，一般为8000～10000之间，按10000和12000两个浓度圈定出三个异常，其中有两个大异常出现在矿体前缘及矿体上部，反映了在成矿过程中矿体前缘及上部包裹体数目多，这是找盲矿的一个重要标志。矿脉中下部出现一个异常，该异常下部矿体延深最大，可能反映了另一个成矿阶段叠加的结果；三甲金矿为一中型石英脉型金矿，已剥蚀到中部，矿脉中石英爆裂累积脉冲数低于邓格庄，脉冲数范围在3078～14802间，一般为5000～8000，按6000和10000浓度带圈定异常，发现上、下两个异常，矿体上部异常是已知矿的异常，伴随着矿体的剥蚀，该异常已大部分剥蚀，下部出现了强异常，是深部盲矿的显示，与气晕和离子晕预测一致。该异常在深部已找到盲矿体。

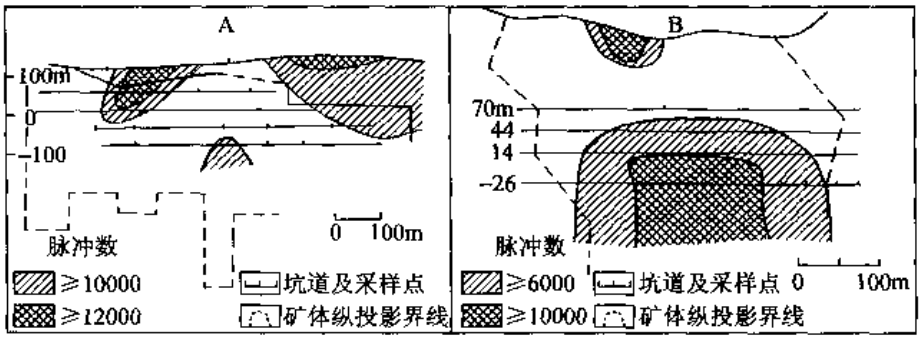


图 1-3-2 胶东邓格庄（A）、三甲（B）金矿床石英爆裂累积脉冲数异常垂直纵投影图

三、典型金矿床的气晕、离子晕叠加特征

金矿床中石英包裹体气相成分一般以水蒸气为主，并含有 CO_2、H_2S、O_2、CH_4、CO、N_2、H_2 等，有时还含稀有和惰性气体，包裹体中液相成分 K^+、Na^+、F^-、Cl^-、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-} 等。上述气相和液相成分中离子在成矿作用过程中，可在矿体周围石英包裹体中形成异常，称为气晕和离子晕。研究气晕和离子晕的发育特征及其轴（垂）向分带性对找盲矿具有重要实用价值。

通过对胶东牟乳金矿带邓格庄、三甲等含金石英脉、招掖金矿带新城蚀变岩型金矿及玲珑石英脉型金矿的研究表明，金矿床周围存在着气晕和离子晕，而且具有明显分带性。由于各典型金矿的物质来源，成矿溶液成分及成矿环境的差异，各矿床的气晕和离子晕强度不同，异常分带也采用了不同浓度标准。

1. 邓格庄石英脉型金矿床的气晕和离子晕

邓格庄金矿为大型石英脉型金矿，地表石英脉宽 50cm 左右，硫化物少见，向深部到 50～100m 石英脉变为 1～2m 厚，为含大量黄铁矿的金矿体。图 1-3-3 是邓格庄金矿Ⅱ号含金石英矿脉的石英包裹体气晕和离子晕垂直纵投影图。在气相成分中 CH_4、CO 气体、$\bar{D}_{H_2O}$、$\bar{D}_{CO_2}$和液相中 Cl^-、F^- 等离子，在矿脉中上部及前缘形成了明显异常，其中 Cl^-、F^- 离子是矿体前缘的特征指示离子，是预测深部盲矿的重要标志。

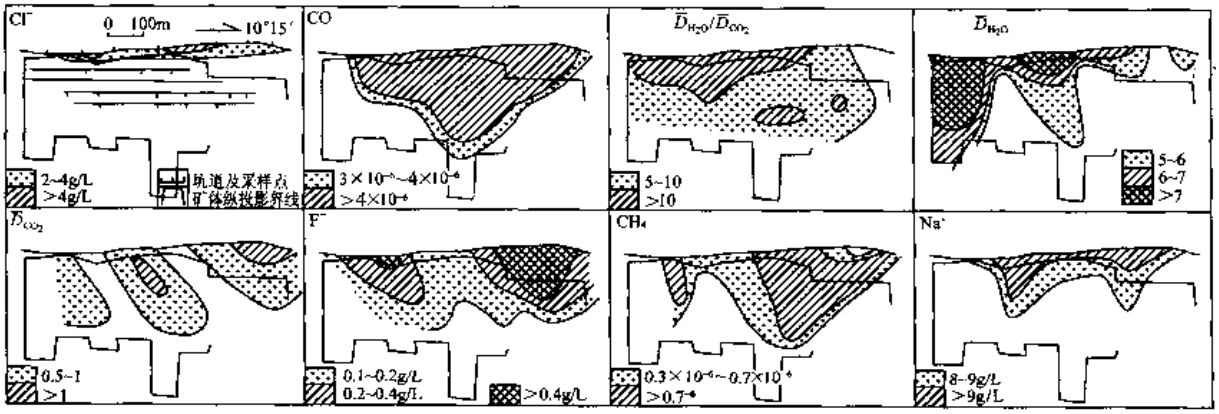


图 1-3-3 山东牟乳金矿带邓格庄Ⅱ号含金石英脉包裹体气晕和离子晕垂直纵投影图

2. 三甲石英脉型金矿床的气晕和离子晕

三甲金矿为地表出露矿体，－26m 标高以上提交金 2.6t，其深部还有没有第二个富集带需要预测。通过包裹体地球化学研究表明，气相成分中 CO_2、CH_4、$\overline{D}_{CO_2}$、$\overline{D}_{H_2O}$、$\overline{D}_{H_2O}/\overline{D}_{CO_2}$及离子 SO_4^{2-}、Cl^-、F^-均在已知矿体上部和下部出现了异常（图 1－3－4），根据该金矿多阶段叠加的特点，认为上部异常是已知矿引起，下部异常是深部第二个金矿富集体的反映，下部两个异常一个是在垂直方向，一是向北侧伏，这与原生异常预测完全一致，而且深部钻探见矿资料已证实了这种预测。

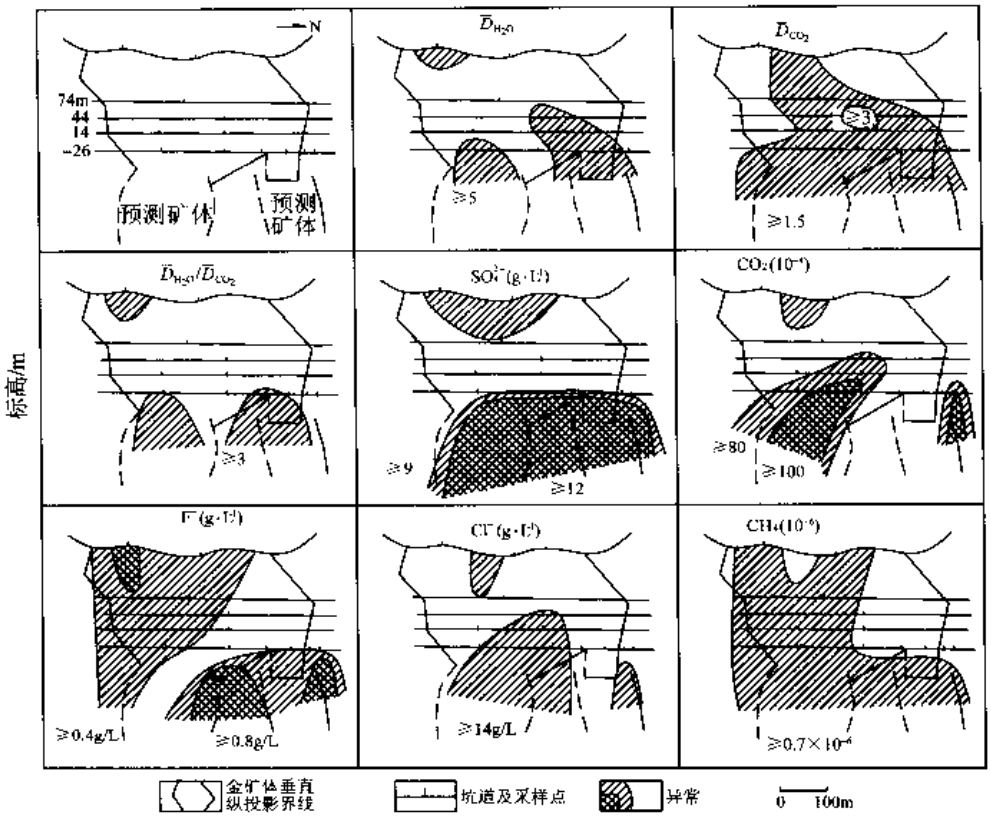


图 1－3－4　山东三甲金矿床包裹体气晕和离子晕垂直纵投影图

3. 玲珑金矿床 52 号脉的气晕和离子晕

图 1－3－5 是玲珑 52 号脉金矿体周围石英包裹体的气晕和离子晕，其特点是 $\overline{D}_{H_2O}$、$\overline{D}_{CO_2}$、$\overline{D}_{H_2O}/\overline{D}_{CO_2}$、$F^-$、$Cl^-$在矿体头部及前缘均形成了明显异常，是前缘晕的特征气晕和离子晕；而 Mg^{2+}、Ca^{2+}离子则在矿体尾部形成了明显异常，是尾晕的特征离子晕，该矿体的气晕和离子晕表现了明显垂直分带性。

4. 新城蚀变岩型金矿床的气晕和离子晕

新城金矿为大型蚀变岩型金矿，在矿体不同标高采集了石英单矿物。均一测温结果表明，矿体中部高，上下两头温度低。气相成分中 CO_2、CH_4、CO 及 $\overline{D}_{CO_2}$和离子成分中 F^-、Cl^-分别在矿体上部及前缘、下部及尾晕出现了异常，其上部异常是已知矿体所引起的异常，下部异常是深部盲矿体的反映，指出了其深部找矿方向（图 1－3－6）。

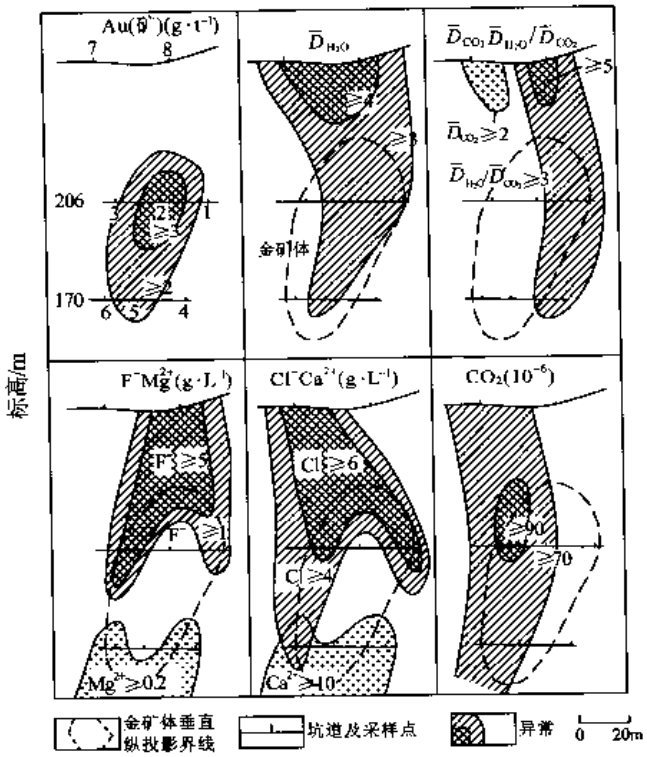


图 1－3－5　玲珑金矿床 52 号脉单个矿体包裹体气晕和离子晕垂直纵投影图

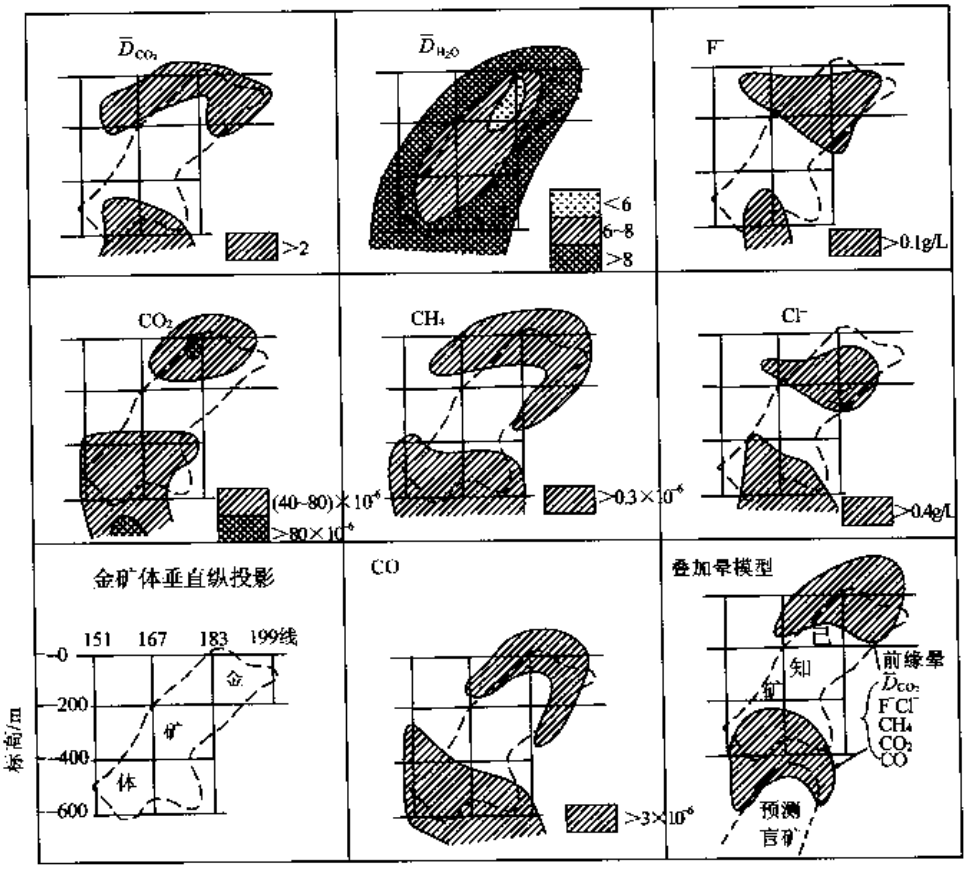


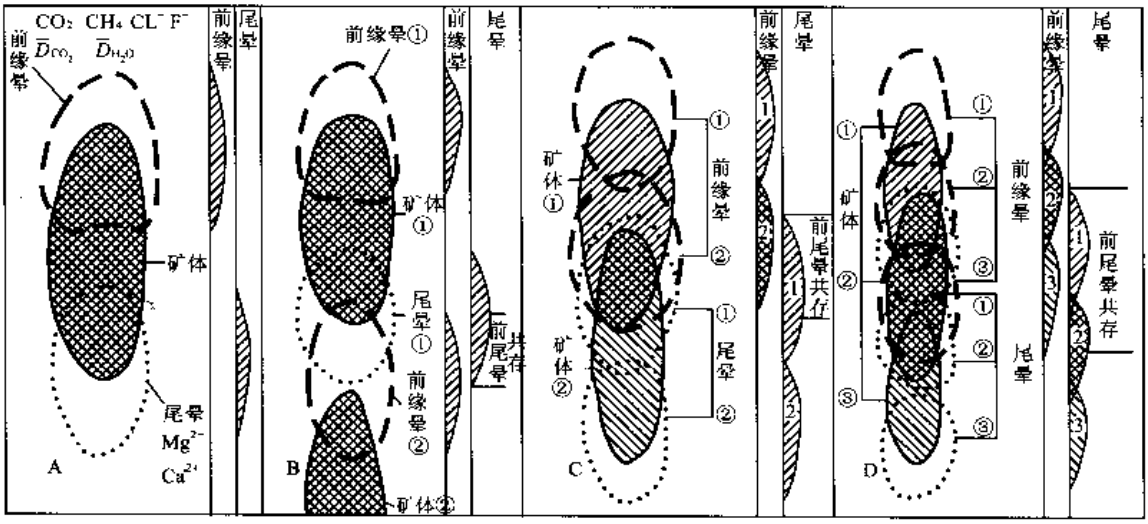
图 1－3－6　山东新城金矿床包裹体气晕和离子晕垂直纵投影图

四、金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕的四类叠加晕理想模型

1. 包裹体气晕、离子晕四类叠加晕理想模型

根据金矿多期多阶段叠加成矿成晕中包裹体气晕和离子晕的轴（垂）向分带性及其叠加特点，总结出了金矿床多期多阶段包裹体气晕和离子晕的理想模型（图 1－3－7），分为四种情况叠加模型：

模型 1：是单阶段成矿或两个阶段成矿在空间上完全叠加的模型，前缘晕、尾晕分带清晰，即在每一次成矿形成的矿体都有自己的前缘晕、尾晕，而且是正向分带。前缘晕特征气晕有 CO_2、CH_4 及反映包裹体中 H_2O 和 CO_2 相对光密度的 $\overline{D}_{H_2O}$ 和 $\overline{D}_{C_2O}$，前缘特征离子晕有 F^-、Cl^-；特征尾晕有 Mg^{2+}、Ca^{2+} 离子晕。



1－3－7　金矿床包体气晕和离子晕及其叠加晕理想模型垂直纵投影图

A—模型 1：单阶段或两个阶段形成的矿（晕）全重叠；B—模型 2：①、②矿（晕）为一个阶段形成尖灭再现或两个阶段形成；C—模型 3：两个主要成矿阶段形成矿（晕）部分叠加；D—模型 4：第一主成矿阶段形成①、③矿（晕），第二主成矿阶段形成②矿（晕）叠加其间

模型 2：是同一成矿阶段形成的串珠状矿体或两个主成矿阶段形成的两个矿体。叠加晕特点是上部矿体尾晕与下部矿体前缘晕叠加共存，即前缘晕 CO_2、CH_4、F^-、Cl^- 与尾晕 Mg^{2+}、Ca^{2+} 共存。在含金石英脉中，若已知金矿体尾部出现前、尾晕共存，则指示深部还有盲矿存在。

模型 3：两个阶段形成的两个矿体部分叠加，其特点是两个矿体的前、尾晕分别相接加长（延深）、并且在矿体中部有上部矿体尾晕与下部矿前缘晕叠加共存，因此当金矿中出现前、尾晕共存时，指示该矿体是多阶段成矿叠加的结果，矿体向下延伸还很大。

模型 4：是三个矿体部分叠加，也可理解三阶段形成的三个矿体叠加，也可理解为第一主成矿阶段形成上、下二个串珠状矿体，第二主成矿阶段形成的矿体③叠加在其间，叠加晕特点是三个矿体的前、尾晕分别相接加长、且矿体上部前、尾晕共存部分加长。对找

矿的指示作用是当矿体中出现前、尾晕叠加时，指示矿体是多期多阶段叠加的结果，并指示该矿体延伸很大。

2. 金矿盲矿预测的包裹体气晕、离子晕叠加晕标志

（1）前、尾晕特征指示气晕和离子晕成分：前缘晕特征组分为 CO_2、CH_4 气晕和 F^-、Cl^- 离子晕及 $\overline{D}_{H_2O}$；尾晕特征组分为 Ca^{2+}、Mg^{2+} 离子晕。

（2）盲矿预测的包裹体气晕和离子晕及其叠加晕综合标志：包裹体前缘晕特征气相成分 CO_2、CH_4、$\overline{D}_{CO_2}$、$\overline{D}_{H_2O}$ 和液相成分 F^-、Cl^- 离子出现强异常，而液相成分 Ca^{2+}、Mg^{2+} 出现异常很弱时，指示深部有盲矿存在；相反，深部无盲矿。

（3）前缘晕和尾晕共存标志：石英包裹体成分中既有前缘晕特征组分 CO_2、CH_4、F^-、Cl^- 异常，又有尾晕特征组分 Ca^{2+}、Mg^{2+} 异常共存时，则指示深部还有盲矿；若在金矿体中下部出现有 CO_2、CH_4、F^-、Cl^- 与 Ca^{2+}、Mg^{2+} 异常共存，则指示该矿向深部延伸较大。

（4）趋势推测：当含金石英脉已知矿体有三个以上中段控制时，按不同中段采样，发现 CO_2、CH_4、F^-、Cl^- 异常强度从上至下有三个中段连续下降，第四个中段又转为上升时，则指示该矿体向深部延伸很大或深部有盲矿体存在。

五、包裹体叠加晕预测金矿盲矿的效果

根据金矿包裹体气晕和离子晕及其叠加晕模型和盲矿预测的标志，对三甲、新城、邓格庄等金矿深部进行盲矿预测，其中三甲金矿找到了第二富集带盲矿体（金金属量 3t），新城金矿深部的预测与后来发现的 5 号矿体相对应。

第四章　金矿盲矿预测的构造叠加晕理想模型[71]

一、金矿盲矿预测的构造叠加晕四类理想模型

金矿床（体）多期多阶段叠加成矿成晕在构造空间上的叠加形式或叠加结构比较复杂，有多种叠加形式，通过对胶东、小秦岭、陕西、河北、内蒙古、山西等几十个典型金矿床的构造叠晕模式的研究，对比其共性，概括出了四类叠加结构的构造叠加晕理想模型，需要重点说明的是：

（1）理想模式图以剖面表示，显示了金矿体在构造中赋存的有利部位，图中重点表示的是轴（垂）向叠加晕及地球化学参数的变化规律，突出了盲矿预测和不同截面判别金矿剥蚀程度的叠加晕标志，包括叠加晕、轴（垂）向分带序列、轴（垂）向地球化学参数及包裹体气晕、离子晕标志。

（2）金矿成矿一般分为四个成矿阶段，由于Ⅰ、Ⅳ阶段带来 Au 及其伴生元素很少，不能形成工业矿体，所以模式中突出了Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段在成矿成晕过程中在构造空间内的叠加结构。

（3）叠加晕的叠加结构有多种，同位、部分同位叠加或只有前、尾晕叠加，所总结出的四种只是代表。

（4）Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段的重要区别是第Ⅲ阶段（多金属硫化物阶段）富含 Pb、Zn、Cu，第Ⅲ阶段叠加部位显示了 Pb、Zn、Cu 的强异常，而且 Au 较富。

（5）地球化学参数 a = 前缘特征元素（含量、累加、累乘等）/尾晕指示元素（含量、累加、累乘等），如 Sb/Bi，As/Mo，（As + Sb）/（Bi + Mo），As · Sb/Bi · Mo 等。

（6）原生晕轴（垂）向分带序列的正常与不正常是与中国金矿床综合分带序列相比而言的。中国金矿床原生晕综合轴（垂）向分带序列从上至下是：

B – As – Hg – F – Sb – Ba→Pb – Ag – Au – Zn – Cu→W – Bi – Mo – Mn – Ni – Cd – Co – V – Ti

矿体前缘晕及上部　　矿体中部　　矿体下部及尾晕

（7）特大、大、中、小型热液型金矿（体）构造叠加晕具有很大共性。中、小型金矿床也具有大型、特大型金矿床的叠加成矿成晕特点和叠加结构，但大型、特大型金矿成矿有丰富的物质，即巨大的物质供应量、控矿构造和容矿构造规模大、叠加强度高、范围广、叠加形成的叠加晕更复杂。

模型 1：单一主成矿阶段形成矿体（晕）（A）或两个主成矿阶段同位叠加晕（B）理想模型

（1）模式图 1 – 4 – 1 的特点是：在构造蚀变带中只圈出一个矿体，如果金矿成矿成晕分为三个阶段，Ⅱ为主成矿阶段，可理解为第Ⅱ主成矿阶段形成矿体（晕）叠加于第Ⅰ阶段形成的弱矿化晕之上（A）；如果分为四个成矿阶段，Ⅱ、Ⅲ为主成矿阶段，可理解为第Ⅱ或第Ⅲ主成矿阶段叠加于第Ⅰ阶段弱矿化晕之上（A），也可理解为两个主成矿阶段（Ⅱ、Ⅲ）在第Ⅰ阶段矿化晕的基础上同位叠加形成的矿体晕（B）。

由于第一阶段形成矿化晕很弱，所以叠加晕的特点决定于Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段叠加结果。上述几种叠加形成的叠加晕虽然晚阶段形成矿体晕对先形成矿体晕有一定影响，但总体看，原生异常分带、包体异常分带、轴（垂）向分带序列和轴（垂）向地球化学参数的变化都是有规律的，均为正常垂直分带。

（2）盲矿预测标志：①若前缘晕指示元素 B、As、Hg、F、Sb、Ba 强度高，尾晕元素 Bi、Mo、Mn、Ni、Co、V 浓度低，则指示深部有盲矿存在，相反，深入无矿；②第一种模式的叠加形式，可总结出找盲矿、确定判别金矿剥蚀程度的地球化学定量预测指标和建立各种数学模型，如建立回归分析模型、多类判别分析模型，对盲矿深度和矿体剥蚀程度进行定量定位预测。

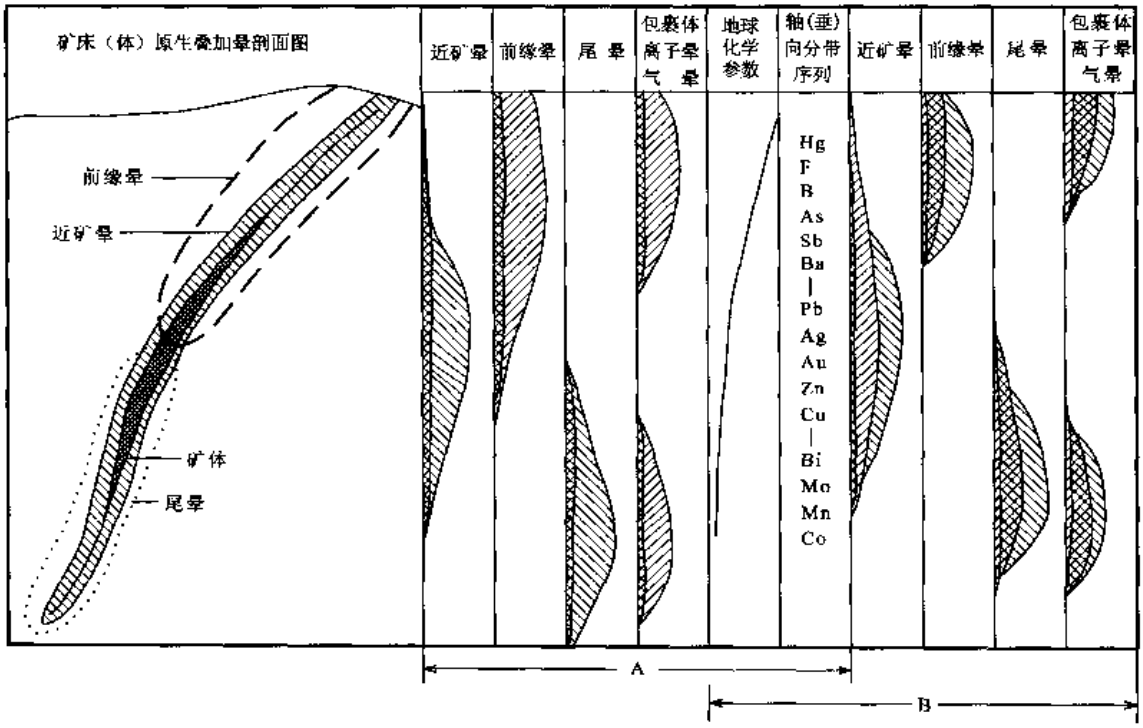


图 1－4－1　单一主成矿阶段形成矿体（晕）A 或两个主成矿阶段同位叠加晕（B）理想模式

地球化学参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素（含量、累加、累乘）/尾晕元素（含量、累加、累乘）

模型 2：串珠状金矿构造叠加晕理想模型

（1）在模式图 1－4－2 中，串珠状或尖灭再现矿体，可能是同一主成矿阶段形成（叠加在第Ⅰ阶段弱矿化晕之上（A）；也可能是两个主成矿阶段都形成串珠状矿体同位叠加；也可能是两个主成矿阶段形成，其中（B）是Ⅱ阶段在上，而Ⅲ阶段在下，且Ⅲ阶段头晕与Ⅱ阶段尾晕衔接；（C）是第Ⅱ阶段在下，Ⅲ阶段超越Ⅱ在上。其特点也是上部矿的尾晕与下部矿体的前缘晕叠加在一起。与第Ⅲ阶段形成矿体在Ⅱ上或在Ⅱ下相对应，Cu、Pb、Zn 强异常也分别出现在上部（图中 C）或下部（图中 B）。串珠状矿体深部盲矿的预测标志是在已知矿体尾部 Au、Ag 异常较弱时，出现前、尾晕共存，地球化学参数轴（垂）向发生转折及轴（垂）向分带序列出现反常。

（2）盲矿预测标志：若工程只控制到上部矿体的根部（深部盲矿不知道），若在上部矿体下部或尾部出现尾晕元素 Bi、Mo、Mn、Co 的强异常基础上，又出现了 Hg、Sb、I、B、

As、F 等前缘晕元素的强异常，即“前、尾晕共存”，计算垂直分带序列也出现“反分带或不正常”，即 Hg、Sb、I、B、As、F 等出现在分带序列的中或下部，计算分带性指数或累乘比值在上部几个标高连续上升或下降，而到矿体下部则出现转折——突然下降或上升，这种现象是深部还有盲矿或第二个富集中段的标志。该模型是预测盲矿最典型、最重要的叠加晕模型。

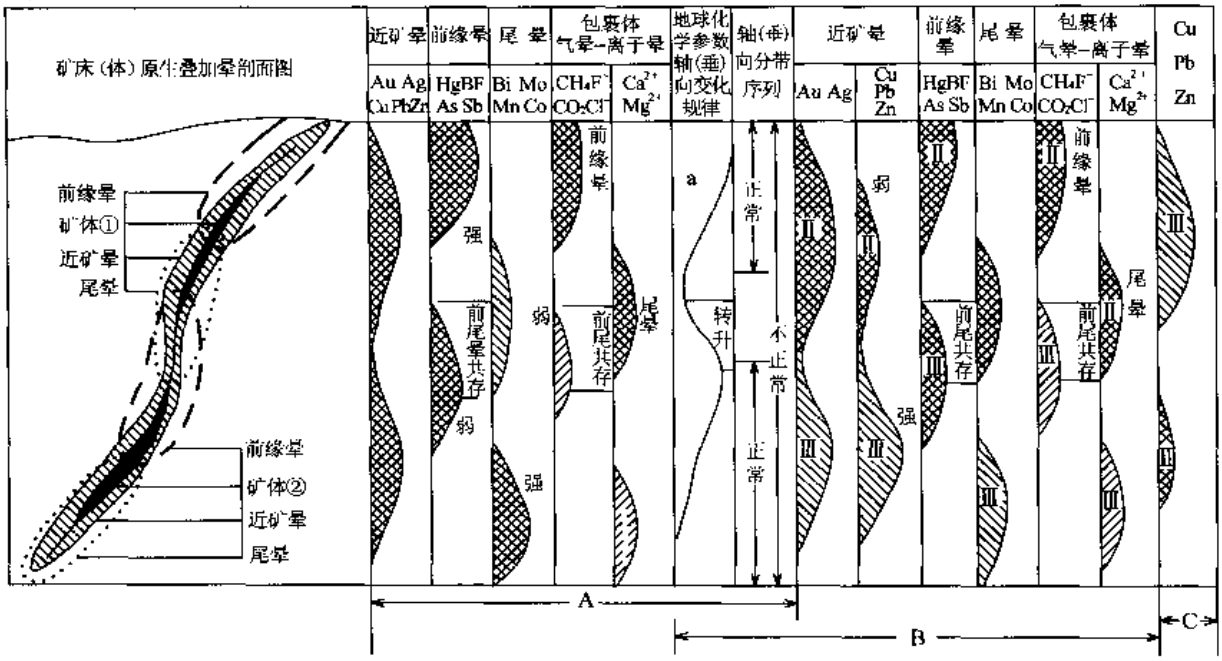


图 1－4－2　串珠状金矿体原生叠加晕理想模式

A—单一主成矿阶段形成矿体（晕）或两个主成矿阶段同位叠加；B—主成矿阶段形成矿体（晕）①在上，Ⅲ阶段形成矿体（晕）②在下；C—Ⅱ阶段在下，Ⅲ阶段超越 Ⅱ在上；地球化学参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素（含量、累加、累乘）/尾晕元素（含量、累加、累乘）

模型 3：两个主成矿阶段形成矿体（晕）部分叠加理想模型

（1）在模式图 1－4－3 中，在不知深部有盲矿的情况下，两个主成矿阶段形成的两个矿体（晕）部分叠加的结果加大了矿体在轴（垂）向的延伸，所圈出的矿体延深较大。由于上、下两个矿体的两个前缘晕和两个尾晕分别叠加合成，也加大了矿体前缘晕和尾晕的长度和强度，同时也导致了前缘晕和尾晕重叠或共存部分的加大。这种叠加晕的带基本上属于正常分带，垂直分带序列也是正向分带。

A 为Ⅲ阶段形成矿体②叠加于Ⅱ阶段形成矿体①之下部，此时 Cu、Pb、Zn 异常下部强于上部，B 则反映Ⅲ阶段成矿热液超越第Ⅱ阶段形成矿体②在其上部成矿成晕①，此种情况 Cu、Pb、Zn 异常上部比下部强，而且先形成的下部矿体②的晕均可能有些元素活化向上有一定位移，但总体不会破坏其分带结构。

（2）找矿标志是：①当 Au 含量较低时，若前缘晕特征 Hg、Sb、F、I、B、As 异常强度大，则指示深部有盲矿，若前缘晕元素低，尾晕元素如 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 等元素异常强度大，则指示深部无矿；②若在已知金矿体中，其原生晕中前缘晕元素和尾晕元素都较发育，两者共存则指示矿体是两阶段叠加的结果，指示矿体延深较大，若前缘晕元素强度比尾晕元素强度高，则指示为叠加（矿体）的头部，指示矿体延深很大，若前缘晕元素强度比尾晕元素低，则指示矿体还有一定延伸；③若在矿体尾部出现前、尾晕共存、

分带序列计算结果不正常，地球化学参数发生转折，则指示深部还有串珠盲矿。

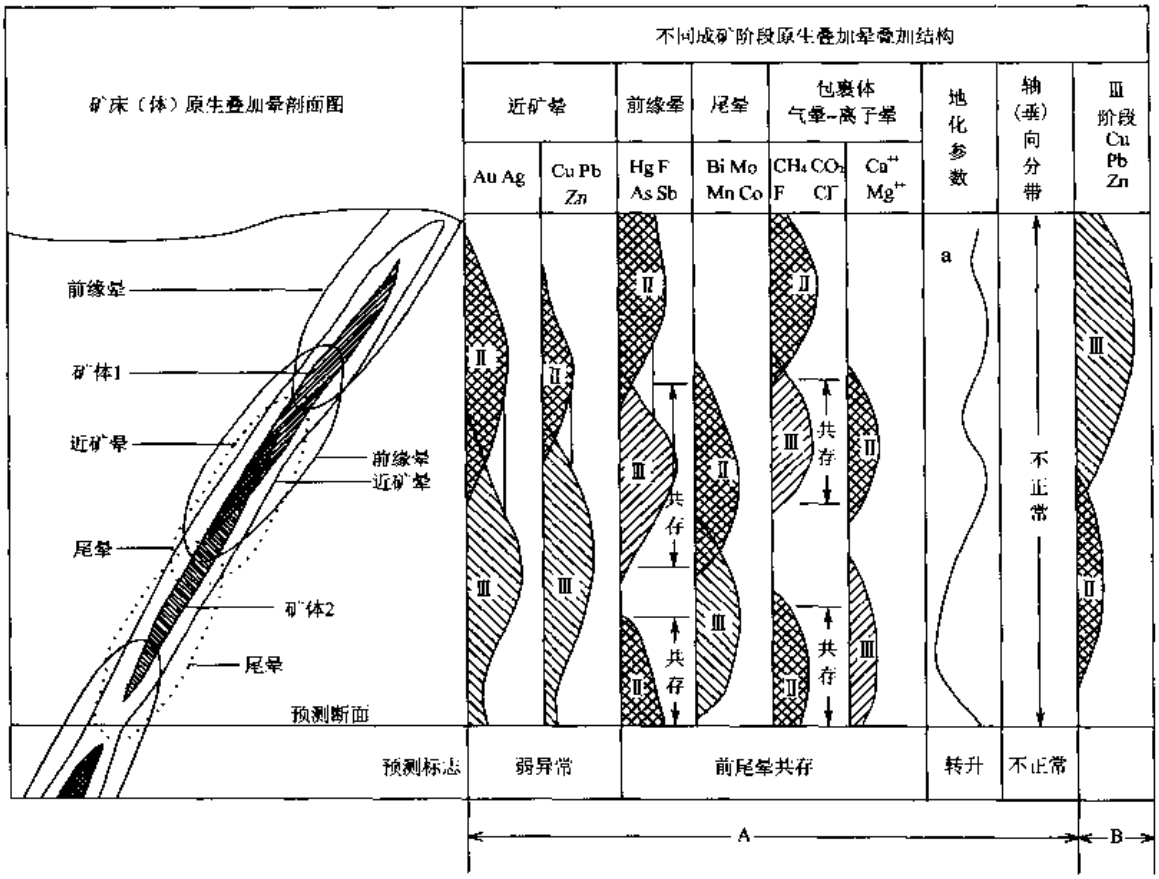


图 1－4－3　两个主成矿阶段形成的矿体（晕）部分叠加理想模式

A—Ⅲ阶段形成矿体②叠加在Ⅱ阶段形成矿体①尾部；B—为Ⅲ阶段形成矿体①超越叠加于Ⅱ阶段形成矿体②的头部和前缘，其异常只有 Cu、Pb、Zn 异常（Ⅱ弱、Ⅲ强）分布有差别，其余元素异常相似。地球化学参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素（含量、累加、累乘）/尾晕元素（含量、累加、累乘）

模型 4：金矿床（体）复杂叠加晕理想模型

（1）在模式图 1－4－4 中，金矿床（体）复杂叠加晕理想模型（矿体向下延伸大小的预测标志），模式图可理解为第Ⅱ主成矿阶段形成了两个尖灭再现矿体①③，第Ⅲ主成矿阶段形成的矿体②④叠加在其中间，也可能是三个阶段形成的三个矿体的叠加，这种情况金矿体延深相当大，也是金矿延深大于延长的一个重要因素，其叠加晕的特点是多个矿体的前缘晕和尾晕分别叠加合成后，大大加长了前缘晕和尾晕的延深（或长度），同时也大大加大了前缘晕和尾晕的重叠共存部分，这种矿体的整体原生晕分带和分带序列基本是正常的，但当取矿体上部某一部分计算分带序列则会出现反常。

（2）模式预测盲矿和矿体剥蚀程度的标志——叠加晕不同截面标志是：①当 Au 含量很低，前缘晕元素强度大，则指示深部有盲矿（地表截面）；②当金矿体的原生晕中前缘晕元素和尾晕元素共存时，指示有多期成矿叠加：若前缘晕元素强于尾晕元素时，指示矿体向深部延深相当大；若前缘与尾晕元素的强度相当则指示矿体还有很大延深，如截面 A－A′、B－B′；若尾晕元素强于前缘晕时，指示矿体还有一定延深；③若无前缘晕只有尾晕则指示矿体已到根部。

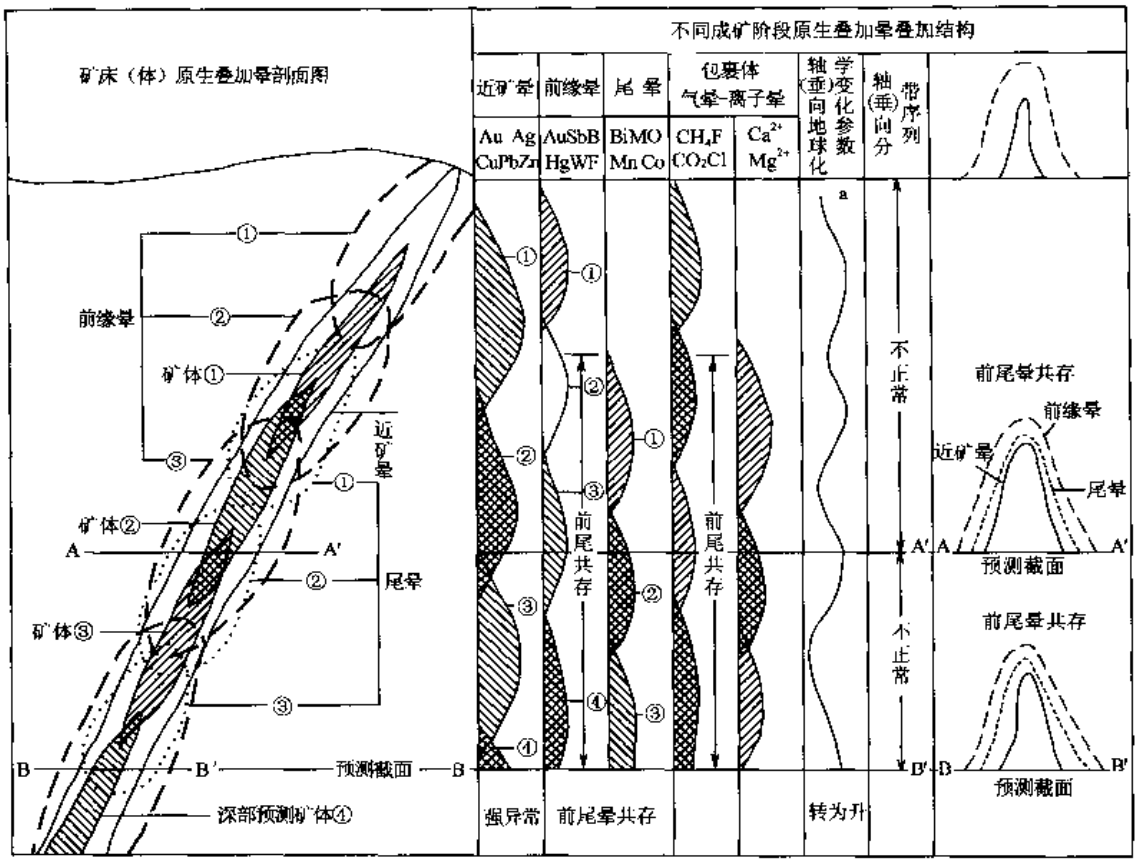


图 1－4－4　金矿床（体）复杂叠加晕理想模式

地球化学参数 a 为前缘晕元素含量或前缘晕元素（含量、累加、累乘）/尾晕元素（含量、累加、累乘）

二、构造叠加晕用于盲矿预测的五条准则

（1）当金异常强度较低时，前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B、F、I、Ba 等出现强异常，尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co、Ni、Sn 等为弱异常（包裹体前缘气晕、离子晕中 CO_2、CH_4、F^-、Cl^-等出现强异常），指示深部有盲矿存在；相反，前缘晕不发育，而尾晕较强，或只有包裹体离子晕 Ca^{2+}、Mg^{2+}出现强异常，则深部无矿。

（2）“反分带”准则：当计算金矿床原生晕轴（垂）向分带序列时，出现“反向分带”或反常，即典型前缘晕元素 As、Sb 、Hg、B、F、I、Ba 等出现在分带序列的下部，则指示深部还有盲矿存在或有第二个富集带（盲矿体），若矿体本身还未尖灭，计算的分带序列出现了反分带，则指示矿体向下延伸还很大。

（3）反转准则：计算金矿体或晕的地球化学参数（比值：前缘晕元素/尾晕元素或其累加、累乘比；或尾晕元素/前缘晕元素或其累加、累乘比）时，若其值从上到下有几个标高连续下降或上升，突然反转，即由降转为升或由升转为降，这种变化指示深部还有盲矿或矿体向下延伸还很大。

（4）前、尾晕共存准则：在有金异常的条件下，若在矿体尾部有尾晕强异常基础上，又有前缘晕指示元素的强异常，即前、尾晕共存（包裹体气晕、离子晕中前缘 CO_2、

CH_4、F^-、Cl^-等与尾晕Ca^{2+}、Mg^{2+}异常共存），指示深部还有盲矿存在。若在矿体中出现了前、尾晕共存，则指示矿体向下延伸还很大。

（5）前缘晕强度增强趋势准则：在金矿床（体）的构造叠加晕轴（垂）向方向，即从已知矿体前缘→头部→中部→下部→尾晕，前缘晕元素异常强度（包裹体前缘气晕、离子晕中CO_2、CH_4、F^-、Cl^-等）若出现由强—弱—强的变化趋势（图1-4-5），特别是在矿体尾部前缘晕又增强，是指示深部还有盲矿存在的重要标志。

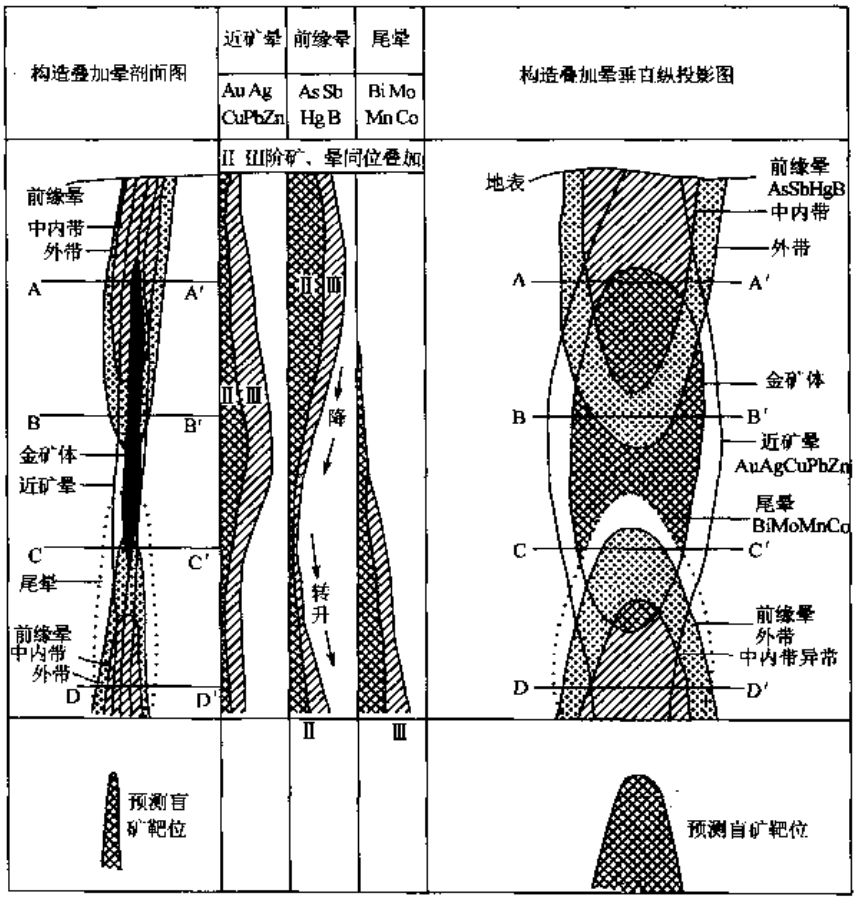


图1-4-5　金矿床（体）深部盲矿预测的构造叠加晕轴（垂）向前缘晕增强趋势图

金矿的原生叠加晕理想模式及其五条盲矿预测准则，对金矿盲矿预测具有普遍指导意义和应用价值，但应用时必须结合研究本矿区叠加晕特点，特别是前、尾晕特征指示元素及其在轴（垂）向上的浓度变化规律，才能取得更好的找矿效果。

以上五条准则可单独使用，也可用其中几条。包裹体气晕、离子晕可单独应用，也可与构造叠加晕准则共同应用，一般采用多种方法及标志，预测的准确性相对较高。

上述盲矿预测标志已在很多金矿山应用，都取得了很好效果，证实了这些准则的有效性。

第二篇　典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

研究和建立了25个典型金矿床的原生叠加晕或构造叠加晕模型。本篇介绍17个典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果，其中胶东金矿集中区7个：蓬莱黑岚沟金矿、乳山三甲金矿、乳山金青顶金矿、牟平邓格庄金矿、莱州新城金矿、招远大井格庄金矿、招远灵山沟金矿；豫陕小秦岭金矿集中区4个：河南杨砦峪金矿、河南红土岭金矿、陕西东桐峪金矿和豫陕小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的综合构造叠加晕模式；秦岭地区1个：陕西太白金矿；晋北3个：阳高堡子湾金矿、阳高九对沟金—钼矿，灵丘刁泉银—铜矿；冀北东坪金矿，内蒙古赤峰柴胡栏子金矿。

用上述典型矿床的构造叠加晕模型对其矿区深部及外围进行盲矿预测，共预测了200多个盲矿靶位，预测金金属量大于200t。到2005年底，部分矿山对部分预测靶位验证结果，共获金金属量已达63.1t，其中找矿效果最显著的是河南秦岭金矿、河南文峪金矿、陕西太白金矿、山东黑岚沟金矿、山东乳山金矿和三甲金矿等。

第一章　胶东典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

模型1　山东蓬莱黑岚沟金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

2002年研究和建立了黑岚沟金矿盲矿定位预测的构造叠加晕模型，用模型对矿区深部及外围进行盲矿预测，提出了17个盲矿靶位。通过矿山对部分靶位验证，已获金金属量8.5t。其中矿区深部5个靶位验证见所获金金属量4.5t，用黑岚沟金矿模式在外围预测靶位，验证获金金属量4t。

一、矿床规模及类型

山东蓬莱黑岚沟金矿床是特大型石英脉－蚀变岩型金矿床。

二、矿床地质特征[7]

黑岚沟金矿床是胶东金矿集中区蓬莱－栖霞成矿带中的特大型石英脉－蚀变岩型富含明金的金矿床。

1. 成矿环境

区内出露地层为太古宇胶东群，主要岩性为黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云变粒岩等。构造以北东—北北东向断裂为主，走向 NE5°～15°，断裂破碎带宽 0.5～6m，倾向东或南东，倾角 45°～75°，长 $n\times100$m 至 $n\times1000$m，在走向和倾向上呈舒缓波状，膨缩现象明显。断裂构造蚀变带由黄铁绢英岩、石英脉、煌斑岩和碎裂花岗岩组成，为控矿及导矿构造。NW 向断裂对矿体有切割及破坏作用。

区内郭家岭似斑状花岗闪长岩岩体为矿床直接围岩。磁山片麻状黑云母花岗岩分布于矿区东部。脉岩有闪长玢岩脉、石英闪长玢岩脉、煌斑岩脉、伟晶岩脉等。

2. 矿体特征

黑岚沟金矿分为黑岚沟矿段和齐家沟矿段，黑岚沟矿段有 7 条构造蚀变带，以 6 号为主，其中已发现矿体多个，但以Ⅰ号、Ⅵ号矿体规模最大；齐家沟矿段内已发现构造蚀变带十余条，已发现矿体 6 个，其中以Ⅰ、Ⅱ、Ⅺ号矿体较大。

金矿体严格受构造控制，金矿体长 300～750m，倾斜延伸 500～600m，厚度 1～10m，品位 1～720g/t，一般为 4～10g/t。

金矿体在走向和倾向具有膨缩、尖灭再现特点。在构造带内金矿体主体为蚀变岩型（黄铁绢英岩），在其上盘或下盘，石英脉往往呈薄脉（厚 20～40cm）状分布，石英脉中黄铁矿很少，而含大量粒状明金，而蚀变岩型矿体中，黄铁矿含量较多，品位相对较低。

3. 成矿阶段

可划分为三个成矿阶段，即Ⅰ：石英－黄铁矿阶段，Ⅱ：石英－多金属硫化物阶段，Ⅲ：石英－碳酸盐阶段。Ⅰ、Ⅱ阶段为主成矿阶段，Ⅰ、Ⅱ阶段叠加部位形成富矿体。

4. 矿石矿物和矿石类型

矿石矿物：金属矿物主要为黄铁矿，其次有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁铁矿、菱铁矿、黝铜矿、毒砂等；金矿物有自然金、金银矿，以明金、裂隙金、晶隙金存在；脉石矿物主要为石英，其次为绢云母、长石、绿泥石、方解石等。

矿石类型有蚀变岩型（含金黄铁绢英岩、含金黄铁绢英岩碎裂花岗岩）和石英脉型。

三、矿床地球化学特征

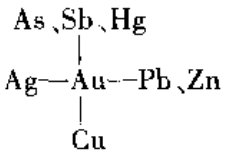
1. 矿床的元素组合及元素相关关系

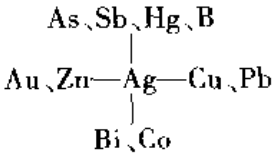
（1）黑岚沟矿床元素组合：以衬值（矿体中元素的几何平均值/矿区背景值）大于

注：模型 1 是《山东蓬莱黑岚沟金矿区深部盲矿定位预测的构造叠加晕模型研究及预测》科研报告成果的一部分。

2 为标准，黑岚沟矿床元素组合为 Au、As、Ag、Zn、Sb、B、Mo、Sn、Co。

（2）与 Au 、Ag 元素相关的相关星





2. 不同成矿阶段元素组合及元素相关关系

（1）以衬值大于 2 为标准，黑岚沟金矿床不同成矿阶段元素组合为：

石英－黄铁矿阶段（Ⅰ）：Au、Ag、As、Sb、B 、Co、Sn。

石英－多金属硫化物阶段（Ⅱ）：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、B、Co、Bi、Mo、Sn。

石英－碳酸盐阶段（Ⅲ）：As、Au。

（2）不同成矿阶段元素相关关系：石英－黄铁矿阶段（Ⅰ），Au 与其他元素均不相关；Ⅱ阶段石英－多金属硫化物阶段和Ⅲ阶段石英－碳酸盐阶段，Au 与 Ag、Cu、Pb、As、Hg、B 等相关。Ⅱ、Ⅲ阶段 Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Mn、Mo 互相关。

四、金矿床的构造叠加晕总体特征

黑岚沟金矿床中矿体严格受构造控制，黑岚沟金矿床的金矿体具有多期多阶段叠加成矿成晕特点，由于Ⅲ阶段（石英－碳酸盐阶段）含 Au 很低，仅在局部叠加，因此，该矿床主要是Ⅰ阶段（石英－黄铁矿阶段是主成矿阶段）和Ⅱ阶段（石英－多金属硫化物阶段）形成矿体及其原生晕的叠加结果。两个主成矿阶段形成矿体－晕在空间上有全同位→近于同位→部分同位等多种形式叠加。因此，在剖面或垂直纵投影图上展现了矿体及其复杂异常，但用叠加成矿成晕观点去分析，则可看出单阶段形成矿体（晕）的轴（垂）向分带及不同阶段形成矿体－晕的叠加特点（图 2－1－1），并总结出了每次成矿形成矿体－晕的轴（垂）向分带特点：

（1）在矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Bi、Mo、Co、Ni、V、W。

（2）矿体（晕）中各指示元素的特征：

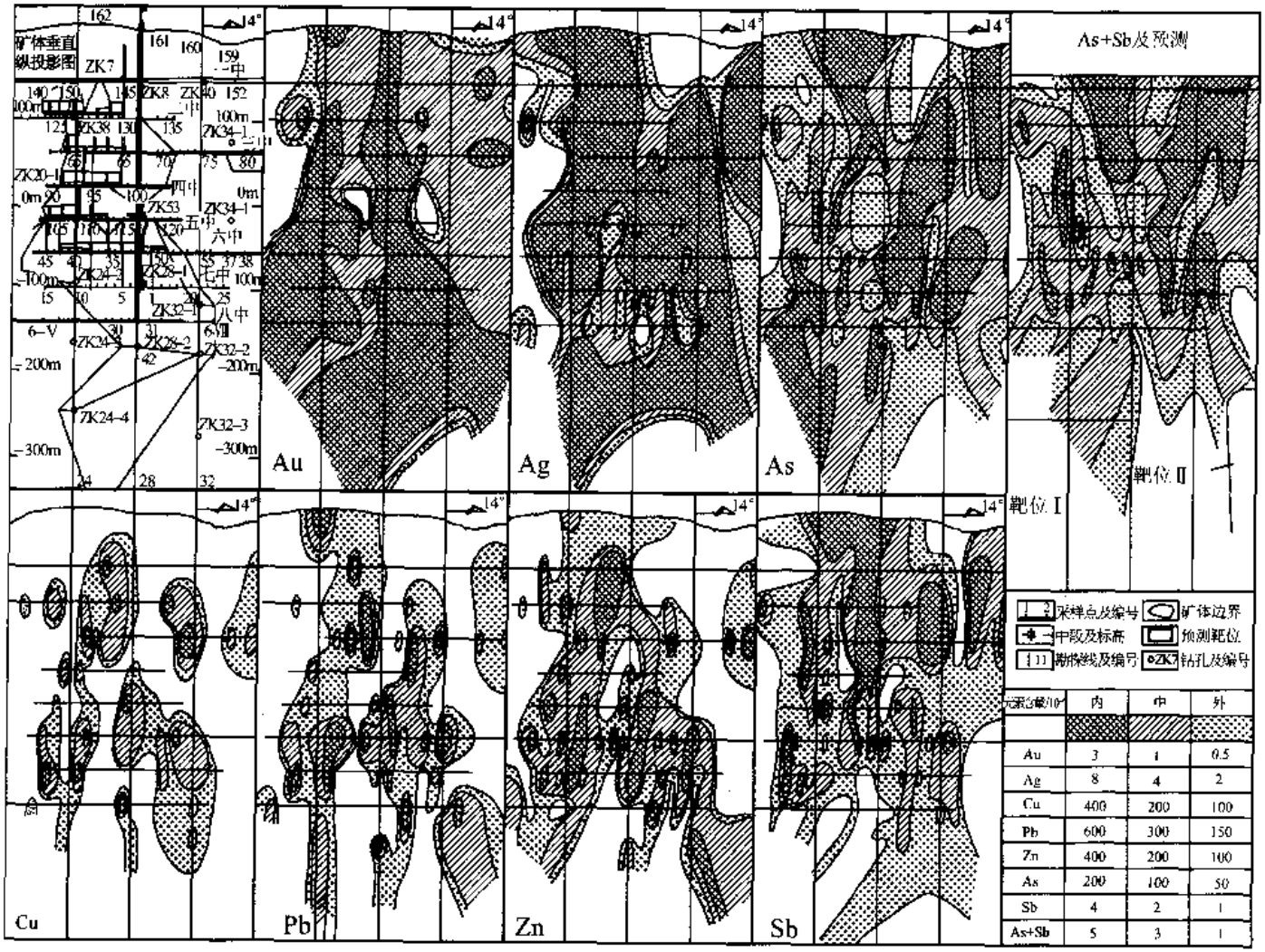
Au：是金矿的成矿元素，也是最重要、最直接的指示元素，在矿体前缘构造中随远离矿体，异常强度逐渐降低。研究表明，其外带异常在矿体上方可达 200m。

Ag：异常与 Au 正相关。

Cu、Pb、Zn：为石英－多金属硫化物阶段特征指示元素，其强异常紧包矿体，指示为Ⅱ阶段叠加，形成富矿体。

As、Sb、Hg、B：在构造中矿体前缘及上部异常强度最高，在矿体中、下部及尾晕中异常强度低或无异常。As 在本矿床的前缘指示最明显，在矿体前缘 200～300m 可出现外带、中带异常。

Bi、Mo、Co、Ni：异常范围也很小，其内带异常集中于矿体的中、下部，是矿体的尾晕指示元素。



元素含量/10⁻⁶	内	中	外
Au	3	1	0.5
Ag	8	4	2
Cu	400	200	100
Pb	600	300	150
Zn	400	200	100
As	200	100	50
Sb	4	2	1
As+Sb	5	3	1

图2-1-1　山东蓬莱黑岚沟金矿床Ⅵ号矿体构造叠加晕垂直纵投影图

W、Cr、Ti、Sn、V 在矿体周围异常分布零星。

（3）单阶段形成矿体及其原生晕组分轴（垂）向分带：前缘晕 As、Sb、Hg、B→近矿晕 Au、Ag、Cu、Pb、Zn→尾晕 Bi、Mo、Co、Ni。

五、金矿床的构造叠加晕模型

（一）矿床构造叠加晕模式

根据黑岚沟金矿各阶段叠加形成矿体（晕）的垂直分带特点及其在空间上的叠加结构，建立了黑岚沟金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图（图 2－1－2），其特点是：

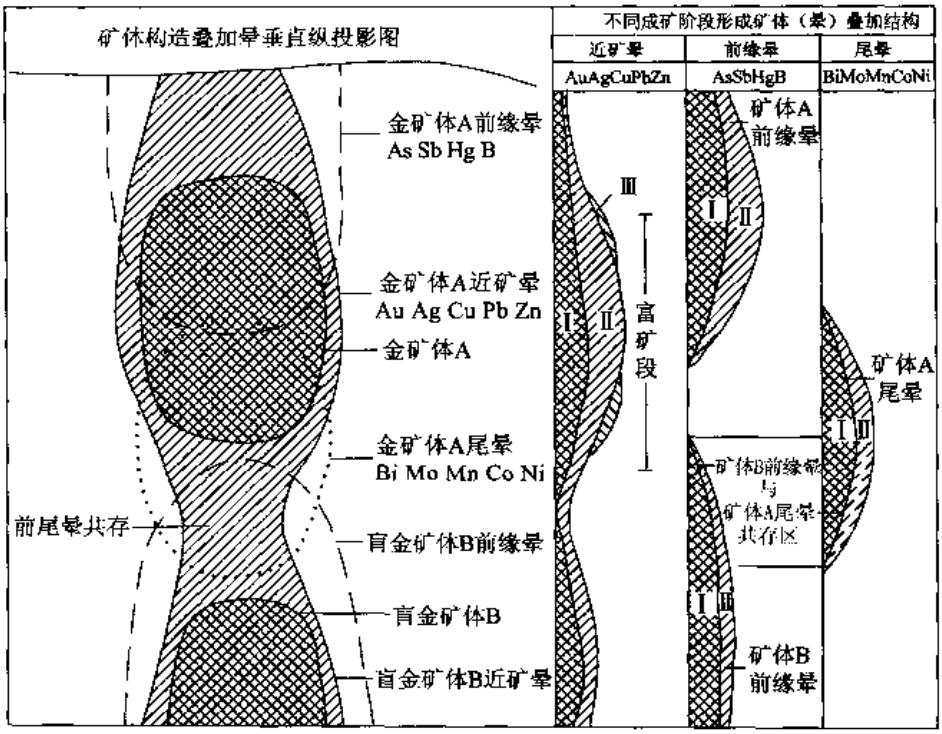


图 2－1－2　山东蓬莱黑岚沟金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图

（1）矿体严格受构造控制，产状与构造蚀变带一致，倾角 50°～70°。断续分布在蚀变带内，矿体有时出现在构造的近上盘，有时出现在构造的近下盘，当矿化强烈时，在构造内形成厚大矿体。

（2）每个矿体有自己的前缘晕（As、Sb、Hg、B）、近矿晕（Au、Ag、Cu、Pb、Zn）和尾晕（Co、Ni、Mo、Bi）。

（3）串珠状上、下两个矿体轴向原生晕叠加时，则上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕叠加共存——前、尾晕共存。上、下两个矿体可能是一个主成矿阶段形成的，也可能是两个主成矿阶段形成的两个串珠状矿体同位叠加，也可能是两个主成矿阶段分别形成了上、下两个矿体，但无论是上述三种哪一种形成方式，两个矿体间都会出现前、尾晕共存。

（二）盲矿预测的构造叠加晕标志

1. 最佳指示元素组合及其指示意义

根据黑岚沟金矿床的单阶段形成构造叠加晕的轴（垂）向分带及不同阶段形成矿体晕在空间上的叠加结构，总结出了黑岚沟金矿区盲矿预测的最佳指示元素组合是：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、B、Bi、Mo、Co、Ni。其中 Au、Ag 是最直接、最重要的指示元素；Cu、Pb、Zn 强异常出现指示有多金属硫化物阶段叠加，可能形成富矿体；As、Sb、Hg、B 是特征的前缘晕指示元素；Bi、Mo、Co、Ni 是尾晕特征指示元素。

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有 Au 外带连续异常的条件下，若有特征前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B 异常强，尾晕元素 Bi、Mo、Co、Ni 异常弱，指示深部有盲矿存在；若再有 Pb、Zn、Cu 异常出现，指示有第Ⅱ阶段叠加，盲矿可能较富、距离较近。相反，As、Sb、Hg、B 异常弱，而 Bi、Mo、Co、Ni 异常强，指示深部没有盲矿存在。

（2）当 Au、Ag 只有外带异常，Cu、Pb、Zn 有外带异常，前缘指示元素 As、Sb、Hg、B 有较强异常，而尾晕指示元素 Bi、Mo、Co、Ni 也有较强异常，即前、尾晕共存，则指示深部还有第二个 Au 的富集体（盲矿），若在矿体下部出现前、尾晕共存，且 Cu、Pb、Zn、Ag 有较强异常存在，则指示矿体向深部还有很大延深。

（3）前缘晕指示元素异常强度趋势分析预测准则：在垂直纵投影或剖面图上，若从矿体前缘→矿头→矿体中部→下部→矿体尾晕，前缘晕指示元素从强→弱→强，特别是在最深部工程控制的构造蚀变带矿化很弱时出现了强异常，反映深部矿体前缘晕叠加，指示深部还有盲矿存在。

若前缘晕元素异常从已知矿体上部→下部，从强→弱→强，反映有下部矿体头部叠加，指示矿体向下延伸还很大。

六、深部盲矿预测验证结果

（1）深部盲矿预测：根据黑岚沟金矿床的构造叠加晕模型和盲矿预测标志，对黑岚沟矿段、齐家沟矿段和矿区外围矿脉深部进行了盲矿预测，共提出了盲矿预测靶位 16 个，预测金金属量大于 15t。图 2－1－3 是黑岚沟金矿床构造叠加晕预测及验证见矿靶位垂直纵投影图。

（2）验证结果：到 2004 年 12 月，黑岚沟金矿对部分预测靶位用坑道和钻孔验证，已获金金属量 8.5t，取得了很好的找盲矿效果。

结论

构造叠加晕方法在黑岚沟金矿区及其外围预测盲矿验证效果证明：构造叠加晕方法在金矿区及其外围盲矿预测是一种有效方法和手段。

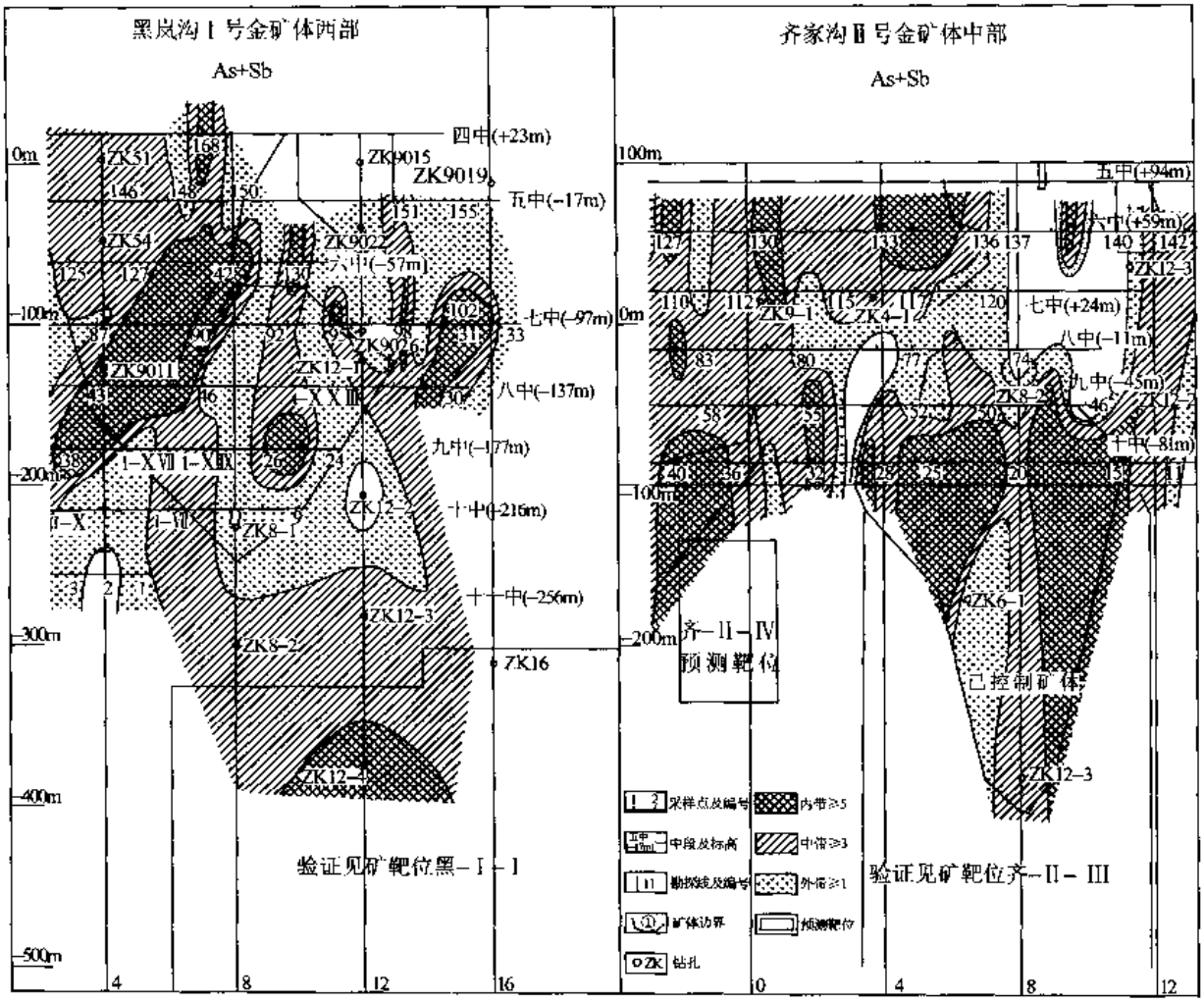


图 2-1-3　山东蓬莱黑岚沟金矿床构造叠加晕预测及验证见矿靶位垂直纵投影图

模型 2　山东乳山三甲金矿床的构造叠加晕模型及两次预测盲矿效果

冶金部山东地质勘探公司第二地质队 1987 年提交 2.6t 金金属量，控制标高自地表 150m 至 -26m。1987 年，冶金部地球物理勘查院物化探研究所与该队合作，研究了该矿的地球化学异常特征，预测 -26m 标高之下有第二富集带盲矿体，1993 年被冶金部山东地质勘探公司第三地质队深部（-26 ~ -266m 标高）钻探证实获金金属量 3t。1995 年冶金部地球物理勘查院物化探研究所与三甲金矿合作，进行深部（-300m 标高之下）预测。在 1987 年工作基础上，进一步研究和建立了矿床原生叠加晕模型，预测 -300m 标高之下还有第三个富集中段，深部坑道已见矿，又获金金属量 3t。据其成矿条件和地球化学异常，有望升级为大型金矿。

一、矿床规模及类型

山东乳山三甲中型石英脉型金矿床。

二、矿床地质特征[9]

三甲金矿的控矿断裂总体走向 350°～355°，倾向北东东，倾角 75°～85°。断裂面具有波状、尖灭侧现的斜列形式，在水平面上呈左行，剖面上呈叠瓦式。围岩为昆嵛山花岗岩。近矿围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、微斜长石化、绿泥石化、碳酸盐化等。脉岩发育，主要有花岗斑岩、流纹斑岩、次安山玢岩、闪长玢岩、煌斑岩等。

矿石类型主要有石英－黄铁矿型、石英－多金属硫化物型、黄铁矿型、石英－磁铁矿型。金属矿物以黄铁矿为主，其次是磁铁矿，有少量黄铜矿、方铅矿及闪锌矿等，金矿物主要有自然金、银金矿。非金属矿物以石英为主，其次是绢云母、长石、重晶石、铁白云石、方解石、绿泥石等。

三甲金矿有两期成矿作用叠加，早期为燕山早期花岗岩化热液成矿，晚期即晚白垩世（燕山中晚期）次火山热液成矿。晚期矿石建造以出现磁铁矿、重晶石、多金属硫化物、碲铋矿为特征。两个成矿期又可划分出 4 个成矿阶段：第一成矿期分为绢英岩化阶段（Ⅰ－1）和石英－黄铁矿阶段（Ⅰ－2）；第二成矿期分为石英－磁铁矿－多金属硫化物阶段（Ⅱ－1）和石英－铁方解石阶段（Ⅱ－2）。其中石英－黄铁矿和多金属硫化物阶段为主成矿阶段，两个阶段叠加部位形成富矿[9]。

三、矿床地球化学特征

1. 矿床的元素组合

矿床的元素组合以矿体中元素衬度值大于 1 为标准，为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo、Mn。

2. 不同成矿期、不同成矿阶段元素组合特征

根据不同成矿期、不同成矿阶段的元素含量（表 2－1－1）和矿物组合及各元素在矿物中的分配特点，总结出其各成矿阶段元素组合特征（以各元素浓集克拉克值大于 1 为参加组合的标准）。

（1）第一成矿期绢英岩化阶段（Ⅰ－1），矿物组合是石英、黄铁矿、绢云母，金矿化极弱，其元素组合是 Au、Ag、Pb、Bi、Mo。

（2）第一成矿期石英－黄铁矿阶段（Ⅰ－2），为主成矿阶段，矿物组合为石英、黄铁矿、绢云母、银金矿、绿泥石、黄铜矿、磁黄铁矿等。元素组合是 Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Mo。该阶段的最大特点是除 Au 大量带入外，Ag、Cu 带入量也大。

表 2－1－1　三甲金矿床不同成矿阶段元素含量对比表

成矿阶段			样数	参数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo
第一成矿期	绢英岩化阶段	Ⅰ－1	8	G	0.0474	0.17	60.2	24.2	49.1	1.88	0.5	0.5	7.7
				C	0.0034	0.011	0.073	0.07	0.09	0.004	0.156	0.079	0.611
				M	13.5	2.1	0.96	2.0	0.52	0.85	0.83	116.3	5.9
	石英黄铁矿阶段	Ⅰ－2	8	G	8.2	4.41	301.6	16.1	43.2	128.9	0.89	2.55	2.25
				C	0.582	0.276	0.363	0.05	0.079	0.288	0.278	0.405	0.178
				M	2442.9	55.1	4.8	1.3	0.46	58.6	1.5	593.0	1.7
第二成矿期	石英－磁铁矿－多金属硫化物阶段	Ⅱ－1	8	G	4.26	7.82	312.6	250.7	418.4	89.6	1.06	1.30	1.14
				C	0.302	0.489	0.377	0.76	0.768	0.200	0.331	0.207	0.09
				M	1217.1	97.8	4.96	20.9	4.5	40.7	1.8	302.3	0.88
	石英－铁方解石阶段	Ⅱ－2	8	G	1.6	3.58	154.9	37.7	34.4	227.9	0.75	1.94	1.52
				C	0.113	0.224	0.187	0.12	0.063	0.508	0.234	0.308	0.121
				M	457.1	44.8	2.5	3.1	0.37	103.6	1.3	451.2	1.2
地壳克拉克值（黎彤，1987）					0.0035	0.08	63	12	94	2.2	0.6	0.0043	1.3

注：M －浓集克拉克值；G—几何平均值，单位为 10^{-6}；C—比例系数＝各阶段某元素含量/该元素总量。

（3）第二成矿期石英－磁铁矿－多金属硫化物阶段（Ⅱ－1），为第二主成矿阶段，该阶段形成的矿物最多，有石英、黄铁矿、绢云母、银金矿、金银矿、绿泥石、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石、磁黄铁矿、磁铁矿、菱铁矿等。其元素组合是 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi。该阶段除 Au、Ag 含量高之外，最大特征是 Cu、Pb、Zn 的大量带入。

（4）第二成矿期石英－铁方解石阶段（Ⅱ－2），矿物组合为石英、绿泥石、磁黄铁矿、铁方解石、毒砂及少量黄铜矿等，其中毒砂为特征矿物。元素组合是 Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Mo，以 As 含量高为特征，Au 矿化弱。

（5）上述 Ⅰ－2、Ⅱ－1 两主成矿阶段的叠加部位往往形成富矿。

（6）各阶段元素组合各具特性，但也有很大共性，即都带入一定量的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo。

3. 不同蚀变带元素带入带出特征（图 2－1－4）

从绢云母化带→黄铁绢英岩化带 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 带入量逐渐增加；K 在弱蚀变带带出，而在强蚀变带带入；Ti、Al 也有类似特点。Ca、Mn 在强蚀变带带出而在弱蚀变带带入。

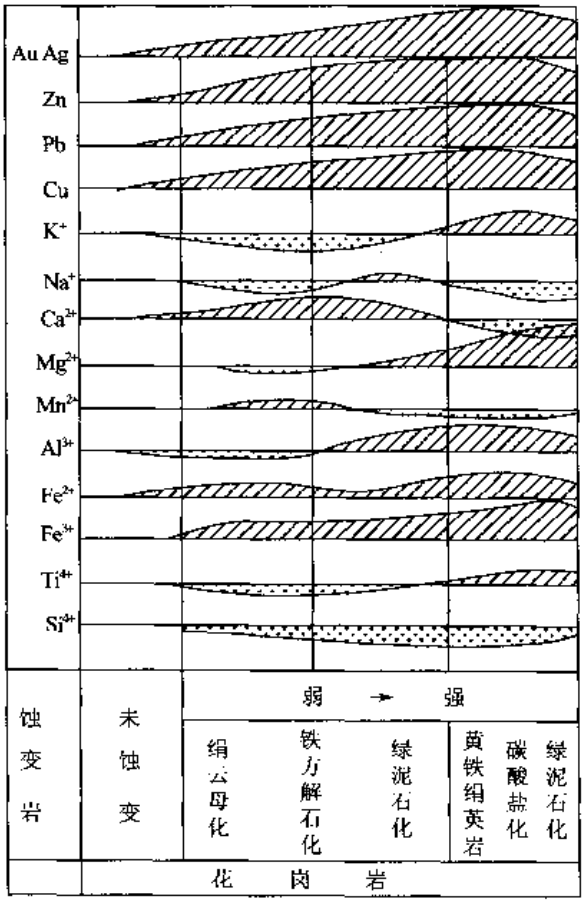


图 2－1－4　山东乳山三甲金矿床不同蚀变带元素带入带出图

四、矿床地球化学轴（垂）向分带特征

1. 原生晕轴（垂）向分带序列

原生晕垂直分带序列从标高 -26 ~ -266m 垂深范围内元素的垂直分带序列从上至下是 Bi—Ni—Mo—Sn—Co—Sb—W—Zn —As—Ag—Cu—Au—B—Pb。该序列 Bi、Mo 在上，而 B、Pb 在下，As、Sb 偏下，出现“反分带”，反映了该矿床叠加成矿特点，指示矿体向下还有较大延伸或下部还有盲矿。

2. 矿床不同标高地球化学参数的垂直变化规律

由于三甲金矿在走向上具有尖灭侧现特点，在剖面上呈叠瓦式，地球化学异常的垂直纵投影实际为叠瓦式矿体（晕）的综合投影结果。每个矿体也是由几个阶段的产物叠加形成的。因此，其总体表现出来的地球化学参数的垂直变化规律也是各成矿阶段形成的矿体叠加的结果。

3. 深部预测效果

三甲金矿矿脉地表露头标高为 150 ~ 200m，1987 年，根据当时的工作情况，研究了地表 → -26m 标高元素变化规律（图 1 -2 -5），认为金矿体深部延伸较大或有第二个富集带，预测结果已得到证实。

（1）从标高 150→50m，Au、Ag、As、Sb、Pb、Au/Ag 有增高趋势，在 50m 标高处出现的 As、Sb、Sb/Bi 高值及较高值的 Ag、Pb、Zn 是下部第二个金富集带的指示。

（2）从标高 -50→ -266m，Au、Ag 有升高的趋势。As、Sb、Au/Ag、Pb · Zn/Mo · Bi 在 -146→ -266m 间出现高值异常及在 -266m 处 Pb、Au/Ag、Sb/Bi、Pb · Zn/Au · Ag 经过几起几落之后有升高的趋势，这些特点都指示深部还有第三个金的富集带。

五、矿床构造叠加晕特征[10]

1. 三甲金矿床 12 线构造叠加晕剖面图（图 2 -1 -5）特征

（1）金矿脉呈叠瓦式分布，其异常也相应呈叠瓦式分布。在矿脉及其近矿围岩中出现异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo 等。异常范围一般较窄，其中 Au、Ag、Cu、As、Mo 异常较宽，为矿脉宽的 4 ~ 8 倍，其余元素仅为矿脉宽的 2 ~ 3 倍。

（2）叠瓦式矿脉中各矿脉都有自己的前缘晕和尾晕，前缘晕特征元素是 Au、Sb、F、Ba，其中 As 在每条矿脉的头部异常强度高、范围大，从矿脉头至尾逐渐变小。各矿脉的前缘晕、尾晕互相叠加或部分叠加。

（3）每条矿脉都显示了多期多阶段叠加成矿、成晕特点，Pb 和 Zn 内、中带异常的出现部位指示多金属硫化物阶段产物的叠加部位。Pb 和 Zn 或 Pb + Zn 内、中带异常与 Au 的强异常分布往往一致，其叠加部位矿体一般较富。

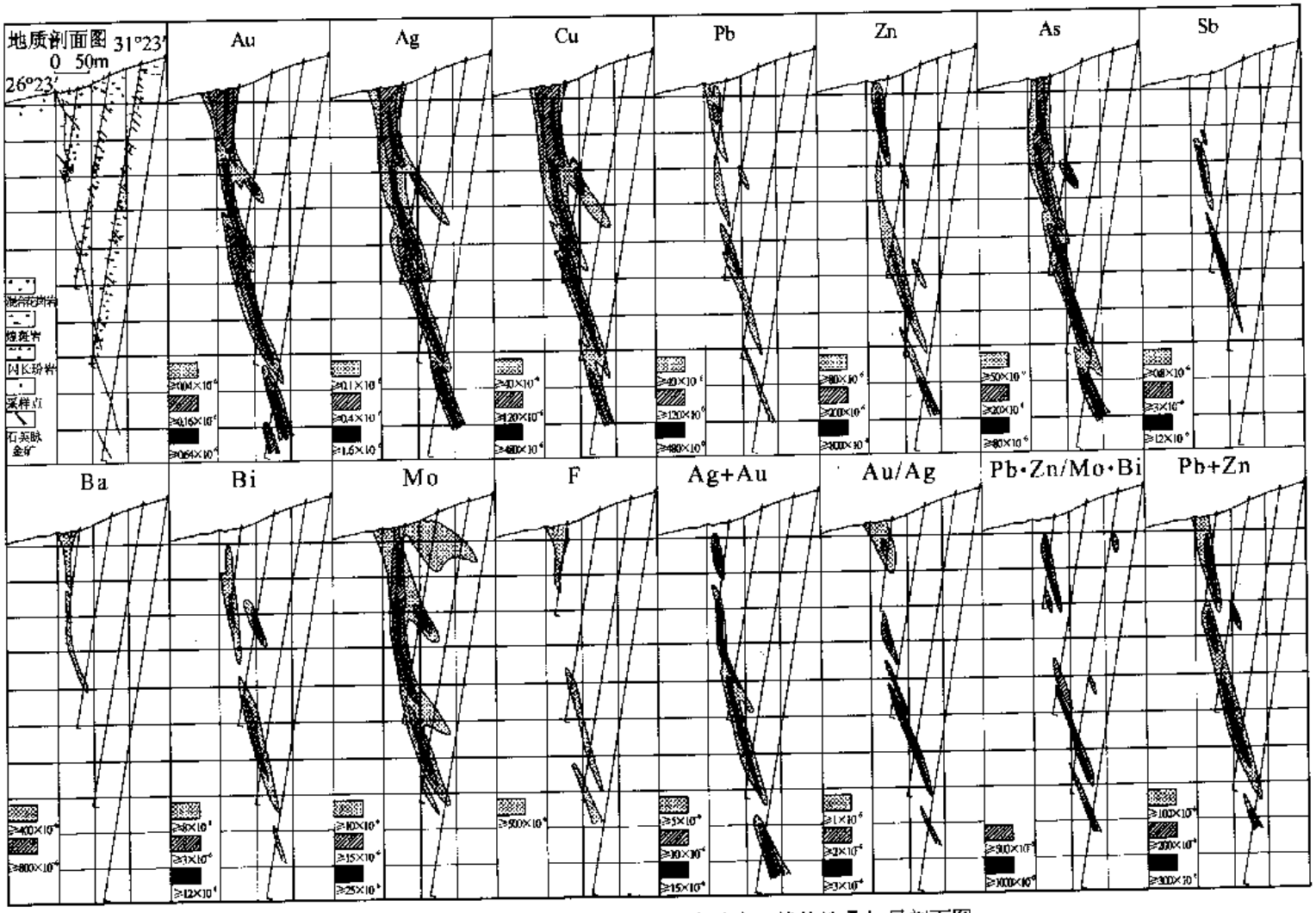
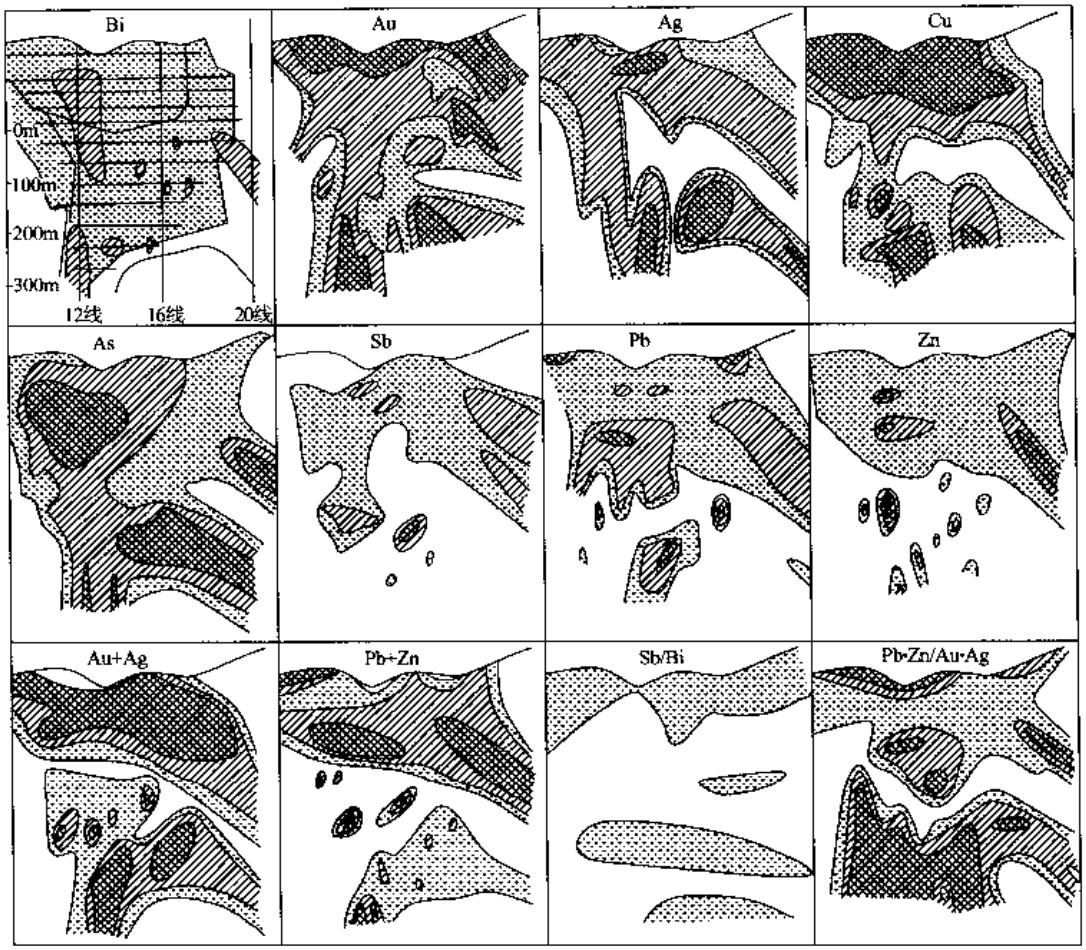


图 2-1-5　山东乳山三甲金矿床12线构造叠加晕剖面图

2. 三甲金矿床含金石英脉构造叠加晕垂直纵投影图（图2－1－6）特征

（1）Au、Ag、Cu及Au＋Ag浓集中心有明显正相关关系，其浓集中心虽有多个，但从上到下（延深方向上）大体可分为上、下2个异常带（对应2个金的富集带）。－26m标高以上（至地表150m）为上部异常带（上部矿体被剥蚀只保留了中下部矿体）；－106m以下为第二个异常带；－26～－106m为弱矿化带。其中上部金富集带的异常强度及规模较大，且连续性较好，第二个富集带已控制范围内的异常强度、范围较小，2个富集带都具有多中心，下部富集带2个浓集中心在走向上相距150m左右。Au＋Ag更明显，上部异常在18线－26m标高以下向北西侧伏，下部异常在18线－200m以下也有向北西的分支异常。

（2）Pb、Zn为多金属硫化物阶段的特征元素，矿脉Pb、Zn及Pb＋Zn强异常部位反映了多金属硫化物阶段产物的叠加部位，Pb＋Zn强异常部位一般Au、Ag较富。Pb、Zn异常群也明显分为上、下2个带，其中上部异常带规模大于下部，反映了上、下2个金的富集带均有Ⅱ－1阶段多金属硫化物的叠加。



元素含量/10^{-6}	Au Ag	Cu	As	Sb	Bi	Pb	Zn	Au+Ag	Pb+Zn	Sb/Bi	Pb·Zn / Au·Ag
外带	2	120	20	0.8	5	60	80	5	100	1	100
中带	5	480	80	2	12	120	200	10	200		500
内带	10	960	200			240	400	15	300		1000

采样中段

0　80m

图2－1－6　山东乳山三甲金矿床构造叠加晕垂直纵投影图

（3）As、Sb 异常，特别是 As 异常明显分为上、下 2 个浓集带，根据胶东金矿床地球化学异常模式的研究成果，As、Sb 为典型前缘晕指示元素，由于该矿床上部矿体已剥蚀至中部，－106m 标高以下为第二个富集带。因此，在上部矿体中下部的强 As 异常为下部第二个富集带矿体的前缘异常，而第二个富集带矿体范围内的 As 异常是深部第三个富集带的指示。

（4）Bi 异常范围较大，但其浓集中心多分布在矿化富集带的下部。

（5）Pb·Zn/Au·Ag、Pb·Zn/Mo·Bi 异常也分为上、下两个富集带，其规模下部较上部大。

（6）Sb/Bi 可圈出 3 个大的异常，上部异常分布于第一个富集带中上部，中部异常分布于第二个富集带中上部，下部异常刚露头，可能是第三个富集带的指示。

（7）三甲金矿床－26m 标高以上石英包裹体气晕、离子晕垂直纵投影图（图 1－3－4）的 CO_2、CH_4（气晕）、SO_2^{-4}、F^-、Cl^-（离子晕）及石英包裹体中 H_2O、CO_2 平均光密度 $\overline{D}_{H_2O}$、$\overline{D}_{CO_2}$的异常均出现在已知矿体上部或前缘和下部。研究表明，矿体上部及前缘的气晕和离子晕是已知矿体引起的，而下部出现的气晕和离子晕异常是深部第二个富集中盲矿引起的，与原生晕预测结果一致。

六、三甲金矿床的构造叠加晕模型[10]

根据三甲金矿床的构造叠加晕特征，总结出了矿床的构造叠加晕模型其特点是：

（1）三甲金矿床矿体在剖面上呈叠瓦式向下斜列的构造叠加晕模式（图 2－1－7）。

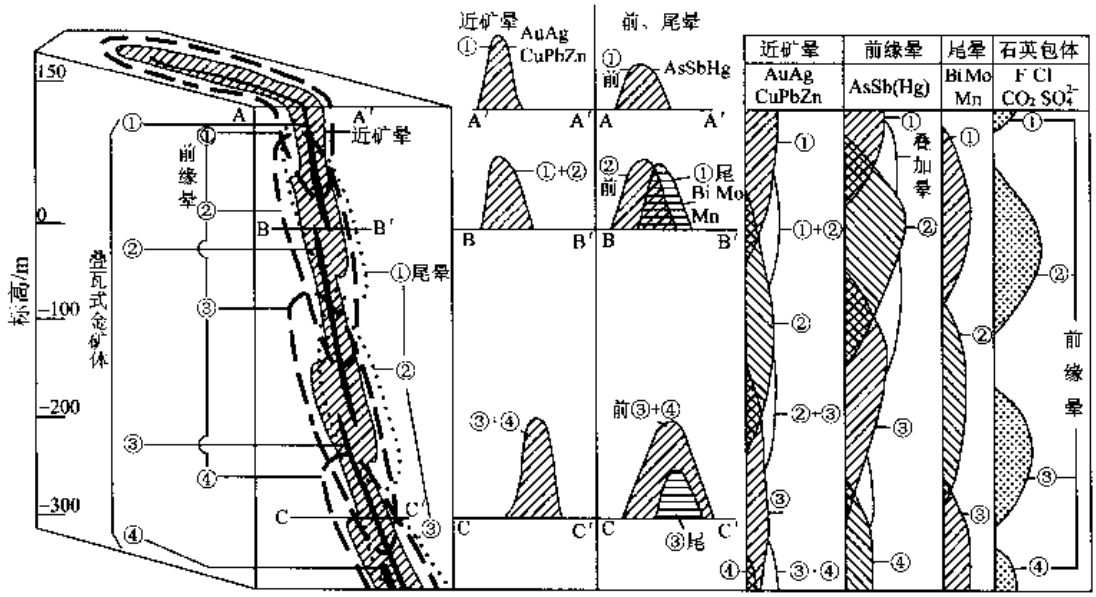


图 2－1－7　山东乳山三甲金矿床构造叠加晕模式剖面图

（2）原生晕轴（垂）向分带特征，在矿体周围能形成异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo、Mn、Co 及 F、B、Hg 等，Sr、Ba 为负异常。根据各元素异常在矿脉及其周围空间分布特点，特别是垂直分带特点，得出了对该区盲矿预测及判断金矿剥蚀程度最佳指示元素组合：①前缘晕指示元素是 As、Sb（Hg、F）；②近矿晕指示元素是 Au、Ag、

Cu、Pb、Zn，其中 Pb、Zn 异常的叠加处为富矿部位；③尾晕指示元素是 Bi、Mo、Mn。

（3）剖面上叠瓦式矿体（晕）上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕部分叠加，使晕范围加大，叠加部位异常强度增强。

（4）图中叠瓦式排列的 4 个矿体可以认为是同期同阶段形成的，每条矿脉都有自己的前缘晕、尾晕及近矿晕，4 条矿脉的晕在空间上呈叠瓦式叠加。实际上 4 个矿体的每一个矿体也是多期多阶段叠加形成的产物，即石英－黄铁矿阶段（Ⅰ－2）形成金矿的初步富集带，又在后期构造活动中叠加了石英－磁铁矿－多金属硫化物阶段（Ⅱ－1）的产物（其证据是 Pb、Zn 强异常分布于各矿脉的富矿部位），局部可能又有石英－铁方解石阶段（Ⅱ－2）的产物叠加。图中只展示了每个矿体中不同阶段所形成的矿体完全重叠的情况，与实际情况基本相符。三甲金矿床构造叠加晕模型即为本区找矿的叠加晕标志。模式图中不同断面异常是盲矿预测和判别金矿剥蚀程度的标志。

七、深部盲矿预测结果及验证效果

根据三甲金矿床的构造叠加晕模型和预测标志对三甲金矿床两次深部预测，提出的第二、第三富集带盲矿靶位，经验证，在－260m 之上找到了第二富集带，增储金金属量 3t；在－260m 之下找到了第三个金的富集带矿体。在第三富集带中－346m、－386m 和－426m中段都见到盲矿（图 2－1－8），又增储金金属量 3t。使矿山累积增储金金属量 6t。推测其他三个靶位都验证后可进一步增加储量，使该矿有望逐步升级为大型金矿。

模型 3　山东乳山金青顶金矿床的构造叠加晕模型三次跟踪研究及预测效果

乳山金青顶金矿是胶东牟平—乳山金矿带的一个典型大型石英脉型金矿床，矿床产于将军石—曲河庄 NE 向断裂南段，围岩为昆嵛山花岗岩，Ⅱ号矿体为主矿体，地表延长不足 300m，深部向 NE 方向侧伏，斜深已达 1000m（垂深 900m），厚度 0.3～6.9m，平均 2.1m，Au 平均品位 9.6g/t。金金储量近 40t 。成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点。

三次跟踪采用构造叠加晕研究和预测，取得了很好的效果[11,12]。

（1）1987 年第一次研究及预测效果：1987 年研究了地表至－400m 间矿床的构造叠加晕特点，矿床的前缘晕特征指示元素为 As、Sb、Hg ，尾晕指示元素为 Bi、Mo、Co、Ni，近矿指示元素为 Au、Cu、Pb、Zn。并发现深部出现了前、尾晕共存，指示矿体向下延伸还很大，该预测被 1990 年前对－600m 以上的探矿所证实。

（2）1996 年第二次研究及预测效果：1996 年对－600m 之上的矿体又作了研究，结果在下部又出现了前、尾晕共存，指示矿体向深部还有较大延伸，该预测结果又被 1998 年的深部（－600～－850m）探矿所证实。

（3）1999 年第三次研究和预测结果：对－850m 以上矿体又进行了系统研究和预测，其结果指示：深部还有盲矿存在，该预测还有待验证。

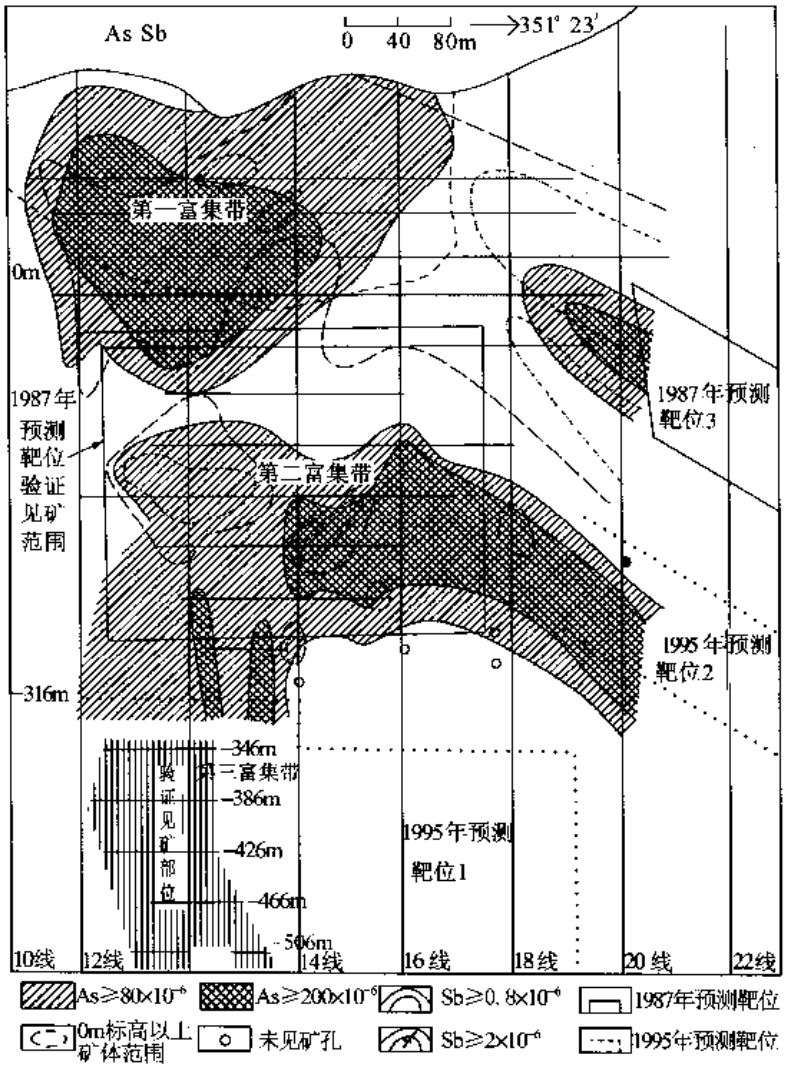


图 2－1－8　山东乳山三甲金矿床构造叠加晕预测及验证见矿靶位垂直纵投影图

一、矿床规模及类型

山东乳山金青顶矿床为特大型－石英脉型金矿床。

二、矿床地质特征

金青顶金矿床产于山东牟平—乳山金矿带将军石—曲河庄 NE 向断裂南段的 S 型断裂带中。矿床围岩为昆嵛山花岗岩，在矿区内新元古界荆山群（主要岩性为斜长角闪岩）呈小捕虏体产出，脉岩以煌斑岩脉为主。

矿区内主矿体为Ⅱ号矿体。矿体中上部由含金石英脉单脉组成，向深部主矿脉两侧出现了许多微细矿脉，局部形成细脉浸染状矿化带。矿体延深大于延长。矿体地表延长不足 300m，深部向 NE 侧伏，斜深已达 1100m（垂深 900m）。矿体厚度 0.3～6.9m，平均

2.1m，Au 平均品位 9.58×10^{-6}。在侧伏方向上有多个厚度中心，似有等距性。金的富集也具有多中心和等距性，但厚度与品位不一定正相关。

围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化、钾化为主，次为绿泥石化、高岭土化、钠长石化等。从近矿到远矿，硅化、黄铁矿化逐渐减弱。

矿物组合主要有自然金、黄铁矿、黄铜矿、石英、绢云母和菱铁矿，其次有银金矿、方铅矿、闪锌矿、碲金银矿、水云母、绿泥石和方解石，尚有少量磁黄铁矿、毒砂、辉铜矿、斑铜矿、碲银矿、碲铅矿、碲铋矿、铁白云石、铁方解石和重晶石。在矿床的浅部，铜、铅、锌的矿物较多，局部可构成铜矿体。菱铁矿、石英脉局部发育。次生作用形成的矿物主要有褐铁矿、高岭石、孔雀石、蓝铜矿，少量辉铜矿、和绿泥石、蒙脱石等。自然金主要以晶隙金、裂隙金、包体金存在。主要载金矿物是黄铁矿（占90%），其次为黄铜矿（占7%）、闪锌矿和方铅矿。

成矿阶段：金青顶矿床的矿化阶段分为五个成矿阶段，即Ⅰ：钾长石化阶段；Ⅱ：绢云母化阶段；Ⅲ：石英黄铁矿阶段；Ⅳ：石英－多金属硫化物阶段；Ⅴ：方解石阶段[9]。其中第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ阶段为主成矿阶段，Ⅰ、Ⅴ阶段不成矿。因此该矿床是Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ作用叠加结果，其方铅矿、黄铜矿、闪锌矿主要是第Ⅳ阶段形成。

三、原生叠加晕的三次跟踪研究[11,12]

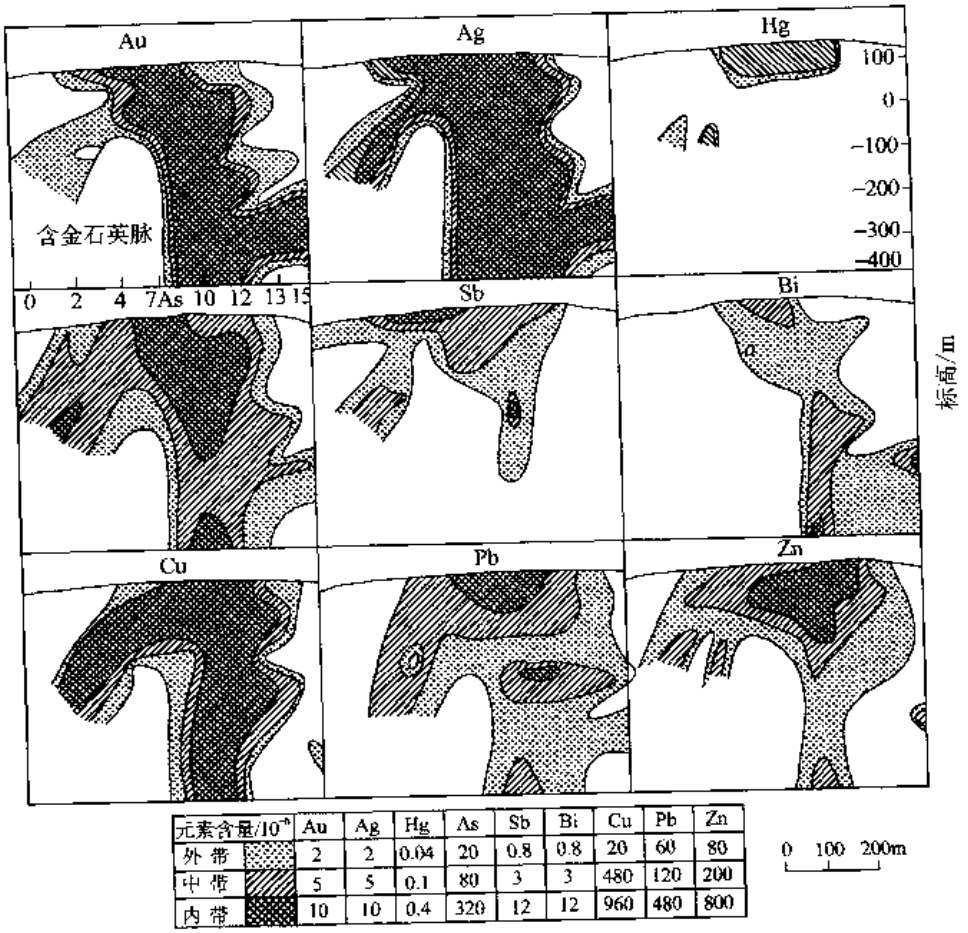
（一）1987 年第一次研究及预测效果

1987 年研究了地表岩石地球化学异常特点和矿床 -400m 以上地球化学异常垂直纵投影（图 2－1－9）的分带特点，从图 2－1－9 可以看出：①Hg，As，Sb 为前缘晕特征指示元素，Bi，Mo 为尾晕指示元素；②在 -400m 处，Au，Ag，Cu 异常还很强，而 As，Pb，Zn 又出现了一个浓集中心，指示了该矿体向下延伸还很大，该预测已被 1990 年前对 -400 ~ -600m 间勘探结果所证实。

1. 矿床地球化学特征

矿床元素组合：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn、Co、Ni。

蚀变过程中元素的带入带出特点：不同蚀变带常量和微量元素含量列于表 2－1－2。各蚀变岩石与正常花岗岩相比，蚀变过程中从热液带入组分中常量元素有 H_2O、CO_2、K_2O、SiO_2、MgO。从花岗岩带出活化组分有 CaO、Na_2O、Fe_2O_3 等，其中 H_2O、SiO_2、CO_2、MgO 随蚀变强度增强而带入量增加，Na_2O、CaO 则随蚀变强度增强而带出量增大，从成矿溶液带入的微量元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Ni、Co、V 等，其带入量与蚀变强度正相关。带出元素有 Sr、Ba；活化转移元素即从强蚀变带带出、而在弱蚀变带带入的元素有 Ti、Rb。



元素含量/10^{-9}	Au	Ag	Hg	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn
外带	2	2	0.04	20	0.8	0.8	20	60	80
中带	5	5	0.1	80	3	3	480	120	200
内带	10	10	0.4	320	12	12	960	480	800

图2－1－9　山东乳山金青顶金矿床－400m标高以上构造叠加晕垂直纵投影图
（据李惠，1987）

表2－1－2　金青顶金矿床不同蚀变岩石中常量及微量元素含量表

成分/%	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	H_2O	CO_2
花岗岩原岩	70.03	15.12	0.24	2.27	0.26	0.20	1.53	4.18	4.42	0.05	0.08	0.52	0.49
钾化花岗岩	70.25	15.2	0.27	1.65	0.22	0.32	1.46	4.76	4.29	0.06	0.08	0.68	0.63
石英绢云母化花岗岩	72.14	15.95	0.20	0.55	0.44	0.38	1.46	5.28	0.10	0.06	0.08	2.08	0.59
黄铁绢英岩化花岗岩	77.20	11.35	0.13	0.92	1.50	0.97	0.43	3.82	0.10	0.01	0.08	2.40	1.67

成分/10^{-6}	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	V	Rb	Sr	Ba
花岗岩原岩	0.006	0.067	25	46	50	2.0	4.1	4.9	92	940	4500
钾化花岗岩	0.006	0.046	22	40	41	2.3	3.1	9.8	91	760	4000
石英绢云母化花岗岩	0.035	0.164	24	15	160	3.9	3.4	12.5	146	46	2800
含金黄铁矿石英脉	10.09	33.54	16600	180	2600	5.2	2.0	22	8	14	320

不同成矿阶段黄铁矿、石英中元素组合及含量特点（表2－1－3）：

表 2－1－3　金青顶金矿床成矿阶段单矿物微量元素含量特征对比表（10^{-6}）

矿物	成矿阶段	样数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	As	Te	Sb	Bi
黄铁矿	Ⅱ	14	162.16	599.66	540	100	47	160	20	2610	340	0.5	10
黄铁矿	Ⅲ	6	165.14	752.41	400	190	44	130	20	1630	510	0.4	20
黄铁矿	Ⅳ	9	7.38	24.81	560	330	160	190	60	510	30	2.8	10
黄铁矿		29	58.28	223.66	490	180	69	160	30	1290	170	0.8	10
石英	Ⅱ	9	0.14	1.2	6	30	17	1	1	1	0.6	0.4	0.3
石英	Ⅲ	2	0.062	0.69	50	30	30	2	4	8	0.6	3.3	0.3
石英	Ⅳ	5	0.2	0.59	8	30	15	1	1	1.3	0.2	0.4	0.13
石英	Ⅳ	1	2.14	<0.2	68	120	2100	1	3	2.2	1	2.4	0.25
石英		17	0.25	0.56	20	42	110	1	2	2.2	0.4	1	0.23
矿石平均含量			9.58	21	829.7	177	194			196.2		1.07	1.97

（1）黄铁矿：在五个成矿阶段中 Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ 阶段有黄铁矿生成，其中 Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ 阶段黄铁矿的元素组合（以其含量大于矿石平均含量为标准）是，Ⅱ—Au、Ag、As、Bi；Ⅲ—Au、Ag、Pb、As、Bi；Ⅳ—Ag、Pb、Zn、As、Sb、Bi。第 Ⅲ 主成矿阶段黄铁矿以含 Au、Ag、Te、Bi 高为特征。多金属硫化物阶段（Ⅳ）黄铁矿中以含 Cu、Pb、Zn、Sb、Co、Ni 高为特点，各成矿阶段都不同程度地含有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Co、Ni 等。不同阶段黄铁矿中元素组合特征可用于区分矿化阶段。

（2）石英：各阶段都有石英生成，尽管石英中微量元素含量一般都很低，但不同阶段石英还是有一定差异，其中第Ⅲ阶段石英中 Cu、Pb、Zn、As、Sb 含量最高，Ⅱ阶段含 Ag 最高，这种差异可作为区分矿化阶段的标志之一。

2. 矿床地球化学轴（垂）向变化规律

（1）矿床地球化学垂直分带序列，从 150m 至 －600m 是：Cu—Pb—Zn—Mo—Sb—As—Ag—Au—Bi，其中 As、Sb 偏于下部（反常），是矿体向下还有延伸的指示。

（2）含金石英脉地球化学参数（表 2－1－4）在垂向上的变化，显示了该矿床多阶段叠加的特点，从地表 150m 至深部 －600m，Au 显示出了三个浓集中心（50m，－250～－350m，－600m）；Ag 也有类似规律，As 显示了四个高值区（50m、－150m、～350m 和 －600m）；Sb 在矿体头部 150m、－150m 和 －600m 显示了三个高值区，As、Sb 在 －600m 再次升高指示矿体向下还有很大延伸。

表 2－1－4　金青顶金矿床中微量元素含量及比值垂直变化规律（10^{-6}）

矿床内部位	标高/m	Ag/Au	Sb/Bi	$\frac{Pb \cdot Zn}{Mo \cdot Bi}$	$\frac{Bi \cdot Mo}{Sb}$	Cu＋Pb＋Zn	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo
头↓上↓中	150	6.75	2.93	20518	3.8	1725	1.14	7.7	122	1.76	0.60	813	723	189	11.1
	50	2.81	1.34	14939	25.7	6391	8.36	23.5	370	1.58	1.18	4728	540	1123	34.4
	－50	2.52	1.13	1078	16	970	2.81	7.1	91.3	0.79	0.70	680	59.1	231	18.1
	－150	1.82	0.64	624	72.6	5265	16.82	30.7	430	1.69	2.64	4705	322	238	46.5
	－250	1.63	0.36	122	130.7	1541	25.8	42.1	115	0.87	2.4	1305	115	121	47.4
	－350	1.12	0.23	114	83	825	35.7	40.1	270	0.97	4.3	622	68	135	18.7
	－450	2.1	0.14	87	58	250	12.2	25.4	167	0.5	3.6	150	50	50	8
	－600	1.6	0.23	2795	23	696	14	22.5	239	1.1	4.7	150	333	213	5.4

3. 矿床原生叠加晕特征

1987 年研究了地表岩石地球化学异常特点和矿床 -400m 以上地球化学异常垂直纵投影（图 2-1-9）的分带特点，并初步建立金青顶金矿床的原生地球化学异常模式[12]。从图 2-1-9 可以看出：Hg、As、Sb 为前缘晕特征指示元素，Bi、Mo 为尾晕指示元素。

4. 预测及验证结果

预测：Ⅰ号矿体深部（-400m）出现了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 及 As、Sb、Hg 组合异常，是矿体头部和前缘晕特征，因此预测Ⅰ号矿体深部有盲矿；

在 -400m，Ⅱ号矿体，Au、Ag、Cu 异常还很强，而 As、Pb、Zn 又出现了一个浓集中心，指示了该矿体向下延伸还很大。

验证结果：到 1991 年，冶金部山东地质勘探公司第三地质队对Ⅱ号矿体深部 -400m 至 -600m间进行了钻探，Ⅱ号矿体向下延伸到 -600m 还没有尖灭，其间发现了第二个金的富矿段（Au 含量 $>30\times10^{-6}$），证实了预测的准确性。

（二）1996 年第二次研究及预测效果

1996 年又对 -700m 之上钻孔原生叠加晕进行了研究（图 2-1-10 是 -700m 标高以上矿体的垂直纵投影图）。

1. 原生叠加晕总体特征

（1）在矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg 等。

（2）由于容矿构造的有利成矿地段具有等距性和成矿具有多阶段叠加的特点，因此，形成的矿体（晕）也具有多中心，其中 Au 在 -700m 之上已有三个富集中心。Cu、Ag 与 Au 有一定相关性，As、Sb、Hg 强异常分布于 Au 的每个富集中心的上部或前缘，Bi、Mo 强异常分布于 Au 浓集中心之下，Pb、Zn 强异常分布于 Au 浓集地段稍偏上，反映了多金属硫化物阶段叠加特点。

（3）在 -700m，Au、Ag、Cu 均出现内带异常，As、Sb、Hg 等前缘晕指示元素异常与尾晕指示元素 Bi、Mo 异常共存，指示该矿向深部还有很大延伸。

（4）矿床地球化学参数（Ag、Au、As、Sb、Pb、Zn、Sb/Bi）在 -600m 发生转折升高（图 1-2-3）。

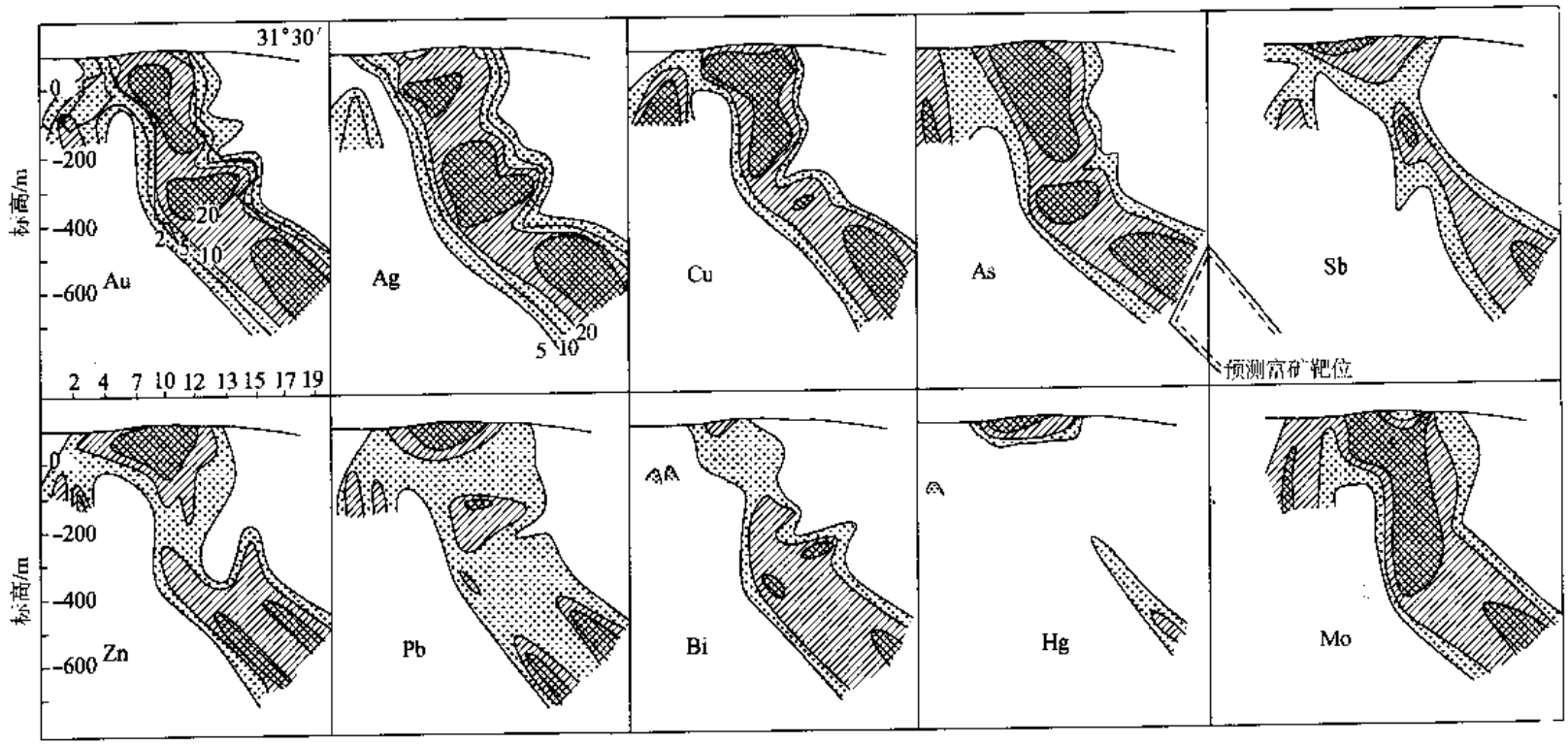
2. 第一次建立的矿床叠加成矿成晕模式

根据金青顶金矿床矿体中 Au 元素具有多中心富集和多阶段成矿成晕叠加特点，总结出了该矿床的叠加成矿成晕模式，其特点是，在有 Au 异常条件下若有 As、Hg、Sb 前缘晕元素异常，则指示深部有盲矿，若在矿体中有前缘晕指示元素 As、Hg、Sb 异常与尾晕元素 Bi、Mo、Mn 异常共存，则指示矿体向下还有很大延伸。

3. 预测及验证效果

预测：根据金青顶金矿床原生晕轴（垂）向“反分带”序列的出现，矿床地球化学参数在 -600m 发生转折和叠加晕前尾晕共存的特点，指示了该矿床Ⅱ号矿体在 -700m 之下还有很大延伸。

验证效果：1997 年勘探深度已达 -900m 以下还有矿体存在，发现了第三个金的富集带。



元素含量/10^{-6}	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Bi	Mo
外带	2 5	5 10	480	30	80	20	0.8	0.04	0.8	6
中带	10	20	960	120	200	80	3	0.1	3	15
内带	20	40	3000	480	800	320	12	1	12	25

10 勘探线　　预测矿体侧伏方向延伸

金矿体　　0 100 200m

图2-1-10　山东乳山金青顶金矿床-700m标高以上构造叠加晕垂直纵投影图

(据李惠, 1996)

（三）1999 年第三次研究及预测效果

1999 年又跟踪研究了 -600 ~ -850m 间构造叠加晕（图 2 - 1 - 11），进一步修改了模式，并对深部 -900m 之下进行了预测。

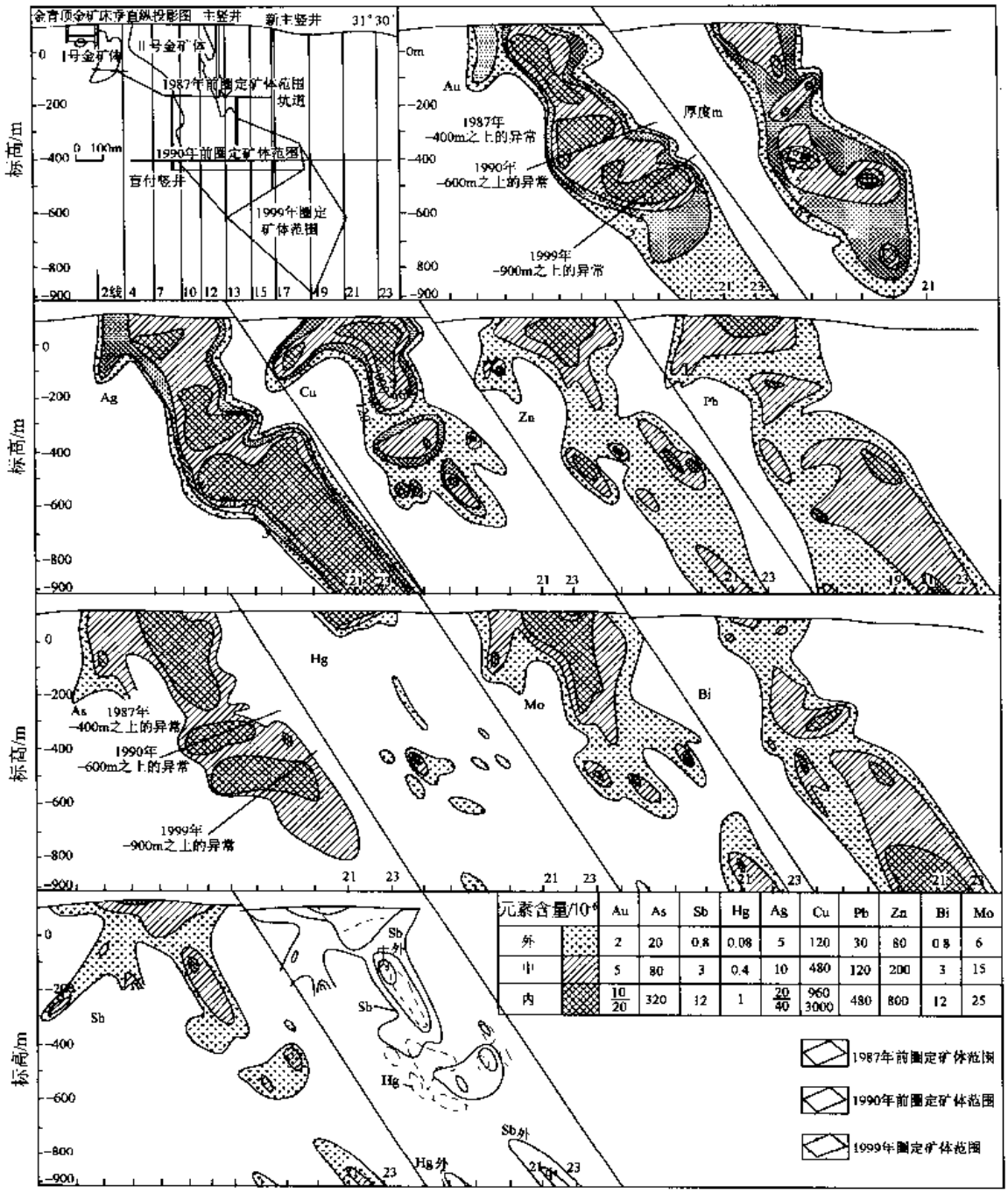


图 2 - 1 - 11　山东乳山金青顶金矿床 -900m 标高以上构造叠加晕垂直纵投影图

（据李惠，1999）

1. 构造叠加晕总体特征

Au 第三个富集中心在 -450 ~ -700m 间，往侧伏方向深部 Au 逐渐降低，但到 -850m 处仍有 $Au \geqslant 2 \times 10^{-6}$ 的强异常存在；②Ag 的浓集中心 -450 ~ -850m 内带异常（$\geqslant 40 \times 10^{-6}$）仍不减弱；③Cu 第三个浓集中心在 -700 ~ -850m 间，深部 -900m 已无异常，但 Pb、Zn 在 -850m 之下又出现了中、内带异常，指示深部有多金属硫化物叠加；④前缘晕：As 从 -600m往下一直降低，到 -850m 没有升高的迹象，而 Sb 到从地表至 -600m出现三个异常中心，分别为其下部三个 Au 富集带的前缘晕，而在 -850m 又出现了中、外带异常。Hg 在 -850m下盘出现了外带异常；⑤尾晕元素 Bi、Mo 在 -850m 又出现了强异常。

2. 矿床原生叠加晕模型的进一步修改

根据金青顶金矿矿体中 Au 具有多中心富集和多阶段成矿晕叠加特点，进一步修改总结出了该矿床的构造叠加晕模式（图 2 - 1 - 12）。

其特点是：

（1）模式反映金青顶金矿床Ⅱ号矿体延深远远大于延长，并具有串珠状多个富矿体中心的特点，每个富矿体都有自己的前缘晕和尾晕，而且上部富矿体的尾晕与侧伏方向的下部富矿体的前缘晕共存。

（2）单阶段形成矿体的前缘晕指示元素为 Hg、As、Sb，尾晕元素为 Bi、Mo，近矿指示元素为 Au、Ag，而 Cu、Pb、Zn 强异常部位反映了第Ⅲ阶段叠加部位。

（3）矿床多个富矿部位均处于有利成矿构造空间，似有等距性，而且都是Ⅲ、Ⅳ两个主成矿阶段同位叠加的结果或叠加于Ⅰ、Ⅱ蚀变矿化空间，多阶段同位叠加部位形成富矿体。

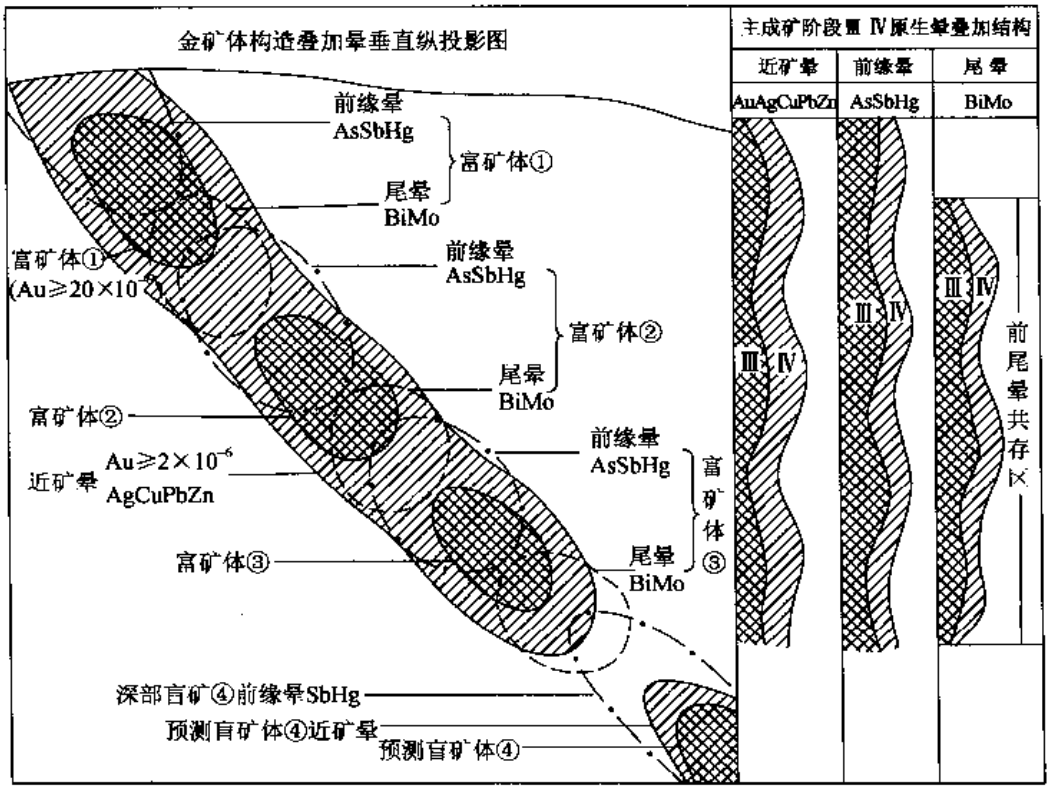


图 2 - 1 - 12　山东乳山金青顶金矿床构造叠加晕模型式垂直纵投影图

3. 盲矿预测标志

（1）在有 Au 异常条件下，若有 As、Sb、Hg 等前缘特征指示元素异常，则指示深部有盲矿存在；若再有 Cu、Pb、Zn 异常出现则指示盲矿有Ⅳ阶段叠加，形成的矿较富。

（2）在有 Au 异常的条件下，若出现 Bi、Mo 等尾晕特征，而 Hg、As、Sb 无异常或很弱，指示深部无矿。

（3）在有 Au 异常的条件下，若出现前、尾晕共存，即出现 Hg、As、Sb 强异常与 Bi、Mo 强异常共存，则指示该异常为上部矿体尾晕与深部盲矿体的前缘晕叠加，预示深部还有盲矿。若在矿体中出现前、尾晕共存，则指示下部叠加矿体刚露头，矿体向下延伸还很大。

4. 对 -900m 之下盲矿的预测

根据金青顶金矿床叠加晕模型和盲矿预测标志，对金青顶金矿床原生叠加晕垂直纵投影（图 2-1-11）进行了分析研究：

（1）深部有盲矿存在的信息是：Au 从 -600m 往矿体侧伏方向虽然一直降低，但 -850m 还有 Au 有 2×10^{-6} 的异常存在，Ag 从 -500m 往矿体侧伏方向，到 -850m，$Au\geqslant40\times10^{-6}$ 的内带异常仍不减弱；在 -850m，Pb、Zn 又出现了中、内带异常，指示深部有多金属硫化物阶段叠加；前缘晕指示元素 Sb 在 -850m 又出现了中、外带异常；Hg 在 -850m 侧下方有外带异常，都是矿体前缘的显示。

（2）指示无矿的现象：As 从 -600 ~ -850m，异常没有升高的迹象；Cu 在 -850m 无异常显示。

从上述可以看出，指示深部盲矿存在的显示不全，但总体上看盲矿存在的信息占优势，所以预测在 21 ~ 27 线深部 -1000m 之下盲矿存在的可能性还是较大。但前缘晕指示元素三缺一（缺 As），多金属指示元素也缺 Cu。因此建议钻探验证。

模型 4　山东牟平邓格庄金矿床的构造叠加晕模型

研究和建立了牟平邓格庄金矿床的构造叠加晕模型，并总结出了盲矿预测的包裹体气晕、离子晕标志及判别矿体剥蚀程度的回归模型的判别分析模型。

一、矿床规模及类型

山东牟平邓格庄金矿床是大型 - 石英脉型金矿床。

二、矿床地质特征

邓格庄金矿为山东省牟平—乳山金矿带金（青顶）-邓（格庄）金矿田的一大型石英脉型金矿床。金矿受牟乳金矿带的六大 NE 向断裂中的石沟—巫山断裂带的中段——金牛山断裂的次级 NNE 向断裂控制。矿区内 NNE 向的压扭性断裂为主导控矿构造，金牛山

断裂两侧的次级断裂为金矿化的主要赋存构造，NNE 与 NNW、NW 向断裂交汇处为金矿化富集地段，并控制了金矿脉的展布及矿体的形态。矿床的直接围岩为昆嵛山花岗岩。区内脉岩发育，有煌斑岩、闪长岩脉、闪长玢岩脉等。

矿区内已发现4条矿脉，以Ⅰ、Ⅱ号脉为主。Ⅰ号脉长2100m，走向10°~25°、倾向NW、倾角40°~85°。蚀变带宽20~40m，其中夹有5条黄铁矿石英脉。Ⅱ号脉长1200m、厚0.8~3.0m、走向10°~12°、倾向NW、倾角60°~85°。金矿体为盲矿，金平均品位为 11×10^{-6}。围岩蚀变以矿体为中心向两侧依次为黄铁绢英岩→绢英岩→绢云母化花岗岩→钾化花岗岩→花岗岩。成矿可划分为4个阶段：Ⅰ粗晶黄铁矿－石英阶段；Ⅱ细晶黄铁矿－黄铜矿－磁黄铁矿－石英阶段；Ⅲ多金属硫化物阶段；Ⅳ石英－碳酸盐阶段。其中Ⅱ、Ⅲ为主成矿阶段。金属矿物主要为黄铁矿，其次为磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿，还有微量的闪锌矿、磁铁矿、毒砂等。金矿物主要有银金矿、金银矿、自然金等，多以包裹体金、裂隙金和晶隙金存在。非金属矿物主要为石英，其次为绢云母、重晶石、方解石、长石、绿泥石等。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床元素组合为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo。

（2）矿床主要蚀变岩石化学成分分析结果见表2－1－5，其特点是从未蚀变的黑云母花岗岩→钾化花岗岩→绢云石英岩，随蚀变程度增加 K_2O、CO_2、H_2O 及 CaO 带入量显著增加，Al_2O_3、FeO、Na_2O、TiO_2 带出量总体上呈增加趋势，MgO、Fe_2O_3、SiO_2、MnO 在钾化带带出，而在绢云母化带带入。

表2－1－5　邓格庄金矿Ⅱ号脉65m中段围岩及蚀变带岩石化学全分析结果[13]（10^{-2}）

岩　性	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	H_2O	CO_2
黑云母花岗岩（原岩）	70.18	15.53	0.26	2.31	0.28	1.20	1.34	3.94	4.22	0.08	0.058	0.31	0.30
钾长花岗岩（钾化带）	69.48	15.18	0.21	2.44	0.23	0.58	1.16	4.83	2.98	0.07	0.050	0.74	2.05
绢云石英岩（绢云母化带）	72.33	14.33	0.17	2.69	0.60	1.21	0.83	5.85	1.85	0.07	0.073	1.26	2.60

（3）不同成矿阶段元素含量特征见表2－1－6，①各阶段元素含量都大于矿区背景值和异常下限；②第Ⅱ阶段以 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb 含量高为特点，第Ⅲ阶段以 Zn、Bi 最高，其他仅次于第Ⅱ阶段而远高于第Ⅰ阶段。

表2－1－6　邓格庄金矿Ⅱ号脉矿石微量元素含量（10^{-6}）

矿石类型	成矿阶段	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn
含金中粗粒黄铁矿	Ⅰ	2.21	2.30	125	0.83	3.18	70	3	150
含金细粒黄铁矿	Ⅱ	44.9	15.5	5391	20.9	3.9	5000	80	170
含金多金属硫化物	Ⅲ	8.6	3.03	249	14.3	6.1	212	28	173
矿床异常下限		0.04	0.1	5	0.8	0.8	30	30	80
矿区背景（岩体）		0.03	0.07	0.8	0.5	0.5	22	17	48

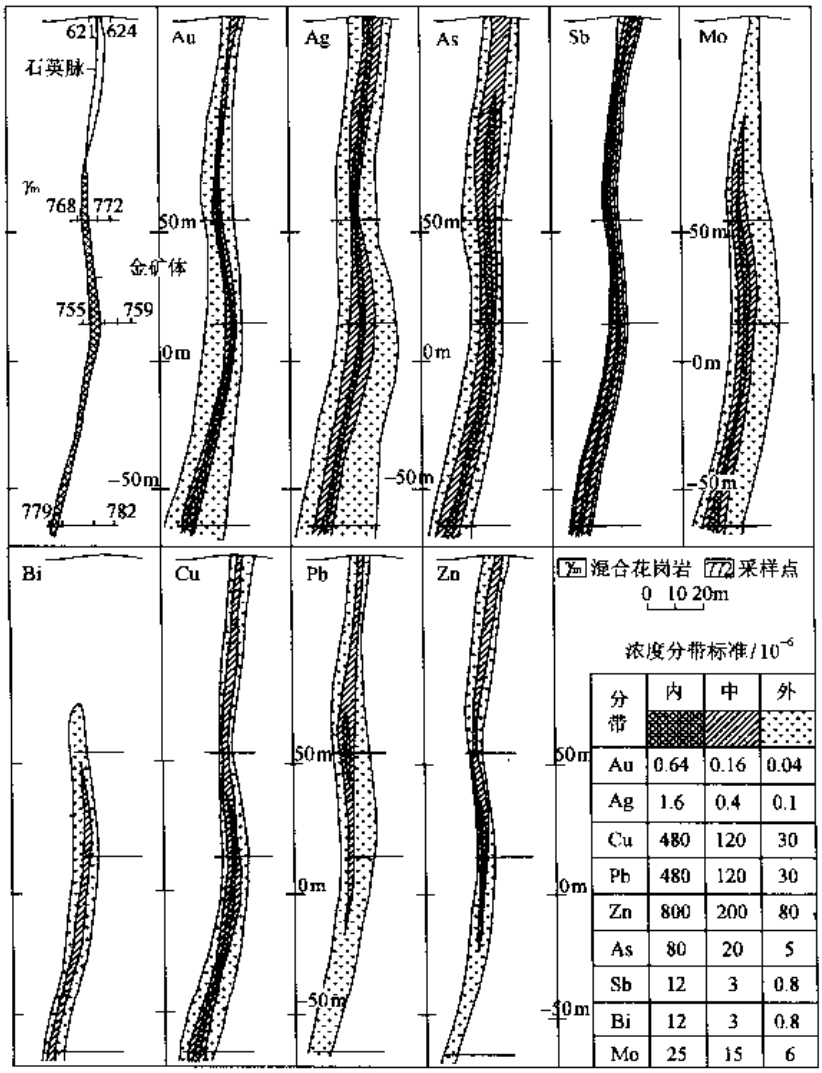
（4）矿体为盲矿体，在22线延深260m，笔者等仅研究了矿体中上部（标高130~-50m）一段。矿体原生晕垂直分带序列从矿体头部→中部为 Zn—Hg—Pb—As—Sb—Bi—

Mo—Co—Au，As、Sb 稍偏下，这与矿体向深部还有一定延伸是一致的。矿床地球化学参数垂直变化规律为：Au 及 Bi、As、Zn、Cu、Pb 从矿体上部→中部逐渐升高，而到 -50m又降低，Mo、Sb 总体逐渐升高，这与该矿体向下有一定延伸也是一致的。Pb·Zn/Au·Ag、Pb·Zn/Mo·Bi、Au/Ag 从上→下稳定降低，可作为剥蚀程度定量预测的指标。

四、构造叠加晕特征及其模型[13]

（1）各主要成矿阶段成矿热液中都含有一定量的 As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn 等元素，每个元素在成矿过程中都具有明显的正向地球化学垂直分带，每个阶段所形成的矿体都有自身的头、尾晕，而且 As、Hg、Sb 等在每个成矿阶段形成矿体的原生晕中都是在矿体前缘富集形成前缘晕，而 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 则富集于矿体尾部，形成尾晕。

（2）当第Ⅱ阶段成矿（晕）叠加在第Ⅰ阶段形成的矿体（晕）上或第Ⅲ阶段成矿（晕）叠加于第Ⅰ、Ⅱ阶段形成的矿体（晕）上或部分叠加的部位时，则先形成矿体（晕）的元素会发生活化迁移，使原来的分带结构遭到一定程度的破坏，但大量资料研究



分带	内	中	外
Au	0.64	0.16	0.04
Ag	1.6	0.4	0.1
Cu	480	120	30
Pb	480	120	30
Zn	800	200	80
As	80	20	5
Sb	12	3	0.8
Bi	12	3	0.8
Mo	25	15	6

图 2-1-13　山东牟平邓格庄金矿床Ⅱ号脉 22 线构造叠加晕剖面图

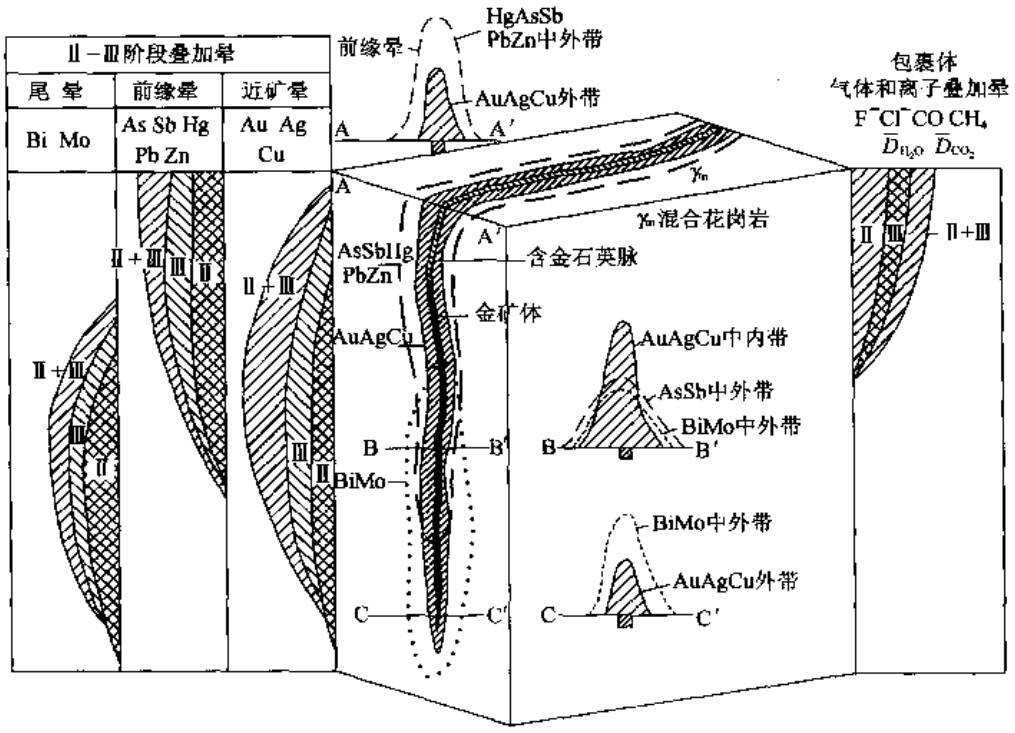


图 2－1－14　山东牟平邓格庄金矿床构造叠加晕模式图

表明，各阶段形成矿体（晕）仍能在一定程度上显示其垂直分带性，几个阶段形成的矿体（晕）的叠加形成了复杂的叠加晕。

（3）同一阶段形成的串珠状矿体有总体的前、尾晕，但其每个矿体又有自身的头、尾晕 。

Ⅱ号脉中金矿体为盲矿，地表之下一百多米见矿体，地表石英脉露头宽 0.5～1.0m，石英为黄褐色—烟灰色，Au 含量为 $0.0n\times10^{-6}$，但地表原生晕异常中出现了 Au、Ag、Cu、As 内和中及外带连续异常，Sb 出现了不连续的异常，Bi、Mo 异常弱，As、Sb 异常的强度、范围都比 Bi、Mo 高和大，为矿体前缘晕特征。Pb、Zn 异常的出现指示盲矿体有多金属硫化物阶段产物的叠加。图 2－1－13 为Ⅱ号脉 22 线构造叠加晕剖面图，从图可清楚地看出，As、Sb 在矿体前缘异常较强，Pb、Zn 异常也偏于矿体头部和前缘，而 Bi、Mo 向矿体中、下部富集。图 2－1－14 是矿床构造叠加晕模式。

（4）气相成分中 CH_4、$\bar{D}_{H_2O}$、$\bar{D}_{CO_2}$和液相中 Cl^-、F^-、Na^+ 等离子在矿体上部及前缘形成明显异常，其中 Cl^-、F^-、Na^+ 是矿体前缘的特征指示离子，是深部盲矿预测的重要标志（图 1－3－3）。

（5）根据邓格庄金矿成矿阶段和叠加晕特点总结出其叠加成矿成晕模式（图 2－1－14）。据矿体地球化学参数（累乘比）总结出了判断矿体剥蚀程度的指标和数学模型。

判断矿体剥蚀程度的指标和数学模型。

矿体头部：$Pb\cdot Zn/Mo\cdot Bi\geqslant500$；

$$Pb\cdot Zn\cdot Sb/Au\cdot Ag\cdot As\geqslant70$$

矿体中部以下：$Pb\cdot Zn/Mo\cdot Bi<300$；$Pb\cdot Zn\cdot Sb/Au\cdot Ag\cdot As<5$

回归方程为：$YH=-0.477+0.345Pb\cdot Zn/Mo\cdot Bi$，及

YH = −0.3 +0.026Pb · Zn/Ag · Au，当计算结果两个回归方程都满足 YH =0.5 左右时为矿体前缘，YH 在 0.5→0 时接近于矿体中部。

模型 5　山东新城金矿床的构造叠加晕模型及两次预测效果

新城金矿是典型蚀变岩型特大型金矿。先后进行了二次研究和预测：1987 年第一次研究了Ⅰ号矿体原生晕，预测深部还有盲矿，后被矿山探矿所证实；1998 年第二次跟踪研究了Ⅰ号和Ⅴ号矿体构造叠加晕模型，又进行了深部预测，提出了三个靶位，2005 年已打三个孔验证都见矿[14]。

一、矿床规模及类型

山东新城金矿床是特大型－蚀变岩型金矿床。

二、矿床地质特征

新城金矿为山东焦家—新城矿田的特大型金矿床之一，赋存于焦家主断裂面下盘。焦家断裂上盘为玲珑黑云母花岗岩，下盘为上庄似斑状花岗闪长岩，走向 NE40°±，倾向 NW，倾角 26°～30°，沿走向和倾向均呈舒缓波状。新城金矿赋存于焦家断裂转弯处，在倾向上矿床赋存于由陡变缓部位。

1. *矿体特征*

新城金矿已探明大小矿体 18 个，其中Ⅰ号、Ⅴ号矿体规模最大，占总储量的 98.62%。1971 年山东地质六队提交Ⅰ号矿体金储量为 $n\times10$t。1994 年冶金部一局 515 队探明Ⅴ号盲矿储量为 $n\times10$t。总储量为 $n\times10$t，平均品位为 7.51g/t。Ⅰ号矿体头部地表长 120m、深度最长 350m。走向 NE40°，倾向 NW，倾角 26°～30°。矿体厚 0.85～28.15m，一般为 5～11m，平均厚 7.72m。品位 2.14～23.95g/t，平均品位 8.2g/t。矿体最大斜深 1120m，呈 45°向 SW 侧伏，垂深 600m。Ⅴ号矿体为Ⅰ号矿体深部倾斜延伸方向上的盲矿体，由一组等距平行的矿体组成，其中Ⅴ1－1 和Ⅴ2－1 为主矿体，其储量占Ⅴ号矿体的 82.3%，矿体赋存于Ⅰ号矿体倾斜深部，在剖面上主断裂面从上→下由缓（赋存Ⅰ号矿体）→陡（Ⅰ号矿尾晕、下方为Ⅴ号矿前缘）→缓处（Ⅴ号矿体群）。Ⅴ号矿体产状及侧伏方向与Ⅰ号矿体大体一致，在垂直纵投影图上Ⅰ号与Ⅴ号呈叠瓦式。新城金矿为典型的破碎带蚀变岩型金矿，可分为黄铁绢英岩型（细脉浸染型）、细脉或网脉型含金矿化带。Ⅰ号矿体为细脉浸染型含金黄铁矿化带，产于绢英岩、黄铁绢英岩内。Ⅴ号矿体

为细脉或网脉型含金黄铁矿化带，产于绢英岩化、硅化或钾长石化花岗闪长质碎裂岩中。

2. 围岩蚀变

焦家断裂的长期活动形成了糜棱岩、次糜棱岩、碎裂岩。含矿热液蚀变主要为绢云母化、硅化、钾长石化、黄铁矿化、碳酸盐化等。由各种蚀变形成的蚀变岩有绢英岩、黄铁绢英岩、绢英岩化花岗质碎裂岩、硅化－绢云母化－钾长石化花岗闪长质碎裂岩。以主构造面为中心向上、下盘对应分带：绢英岩、黄铁绢英岩处于主构造面附近，向上盘依次出现硅化、绢云母化花岗质碎裂岩→绢英岩化花岗岩→黑云母花岗岩。向下盘依次为硅化、绢云母化、钾长石化花岗闪长质碎裂岩→绢英岩化似斑状花岗闪长岩→似斑状花岗闪长岩。

3. 成矿阶段

新城金矿具有多期多阶段叠加成矿成晕特点，热液期分为四个成矿阶段：Ⅰ：石英－黄铁矿－自然金阶段，石英、黄铁矿自然金组合，形成温度288～343℃；Ⅱ：自然金（自然银）－石英－多金属硫化物阶段，矿物组合以黄铁矿为主，伴有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及石英，成矿温度为225～274℃；Ⅲ：自然金－石英－黄铁矿阶段，矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、石英，金矿物以自然银金、辉银矿为主，成矿温度150～180℃；Ⅳ：石英－碳酸盐阶段，为成矿晚期阶段。以第Ⅱ、Ⅲ阶段成矿为主，三个阶段同位叠加部位形成富矿。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床元素组合：以浓集克拉克值和衬值大于1为标准，则：

Ⅰ号矿体为：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Mo、Bi、F、Ba（W、Sn Ⅰ号矿体未分析）；

Ⅴ号矿体为：Au、Ag、Pb、As、Bi、W（F、Ba Ⅴ号矿体未分析）。

Ⅰ号矿体与Ⅴ号矿体元素组合有较大差异，Ⅴ号矿体元素组合中Cu、Zn、Sb、Mo含量很低，而且Ag、Cu、Pb、Zn、W、As含量在Ⅰ号矿体也大大高于Ⅴ号矿体（表2－1－7），反映了Ⅰ号矿体多金属硫化物阶段较为发育。

Ⅰ＋Ⅴ号矿体的元素组合为：Au、Ag、Pb、As、Sb、Mo、Bi（F、Ba、W）。

Ⅴ号矿体群中较大的四个矿体元素组合是：

V_{1-1}：Au、Ag、Pb、As、Bi、W（Sn）；

V_{2-1}：Au、Ag、Pb、As、Bi、W（Sn）；

V_{2-2}：Au、Ag、Pb（As）、Sb、Bi、W、Sn；

V_{2-3}：Au、Ag、Pb、As、Bi。

总体看Ⅴ号矿体群中各矿体元素组合基本上相同。

表 2－1－7　山东省新城金矿床元素含量（G）、衬度值（Pc）、浓集克拉克值（10^{-6}）

矿体	样数		含量特征										
			Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	B	Hg	Mo	Bi
I	20	G	5.5	5.52	206	548	394	37.4	0.8		0.03	34.7	4.39
		Pc	122.2	29.1	25.1	26.5	8.9	74.8	2.7		0.8	64.3	14.6
		Kk	1375	69	3.3	45.7	4.2	17	1.3		0.3	26.7	1097.5
V	34	G	7.13	1.25	19.2	55.6	16.6	3.2	0.42	7.2	0.044	0.67	1.43
		Pc	158.4	6.6	2.3	2.7	0.4	6.4	1.4	1.4	1.1	1.2	4.8
		Kk	1782.5	15.6	0.3	4.6	0.2	1.5	0.7	0.6	0.5	0.5	357.5
I＋V	54	G	6.47	2.17	46.2	111	44.5	7.6	0.52		0.035	1.7	2.0
		Pc	143.8	11.4	5.6	5.4	1.0	15.2	1.7		0.9	3.1	6.7
		Kk	1617.5	27.1	0.7	9.3	0.5	3.5	0.9		0.4	1.3	500
V1－1	10	G	10.19	1.92	13.9	80.2	14.6	4.7	0.39	6.7	0.045	0.6	1.7
		Pc	226.4	10.1	1.7	3.9	0.3	9.4	1.3	1.3	1.1	1.1	5.7
		Kk	2547.5	24.0	0.2	6.7	0.2	2.1	0.7	0.5	0.5	0.5	425
V2－1	10	G	9.46	1.65	17.6	52.1	16.7	3.3	0.4	7.9	0.044	0.84	1.65
		Pc	210.2	8.7	2.1	2.5	0.4	6.6	1.3	1.5	1.1	1.6	5.5
		Kk	2365.0	20.6	0.3	4.3	0.2	1.5	0.7	0.6	0.5	0.6	412.5
V2－2	5	G	9.8	0.88	19.4	44.9	22.7	2.0	0.6	7.7	0.042	0.83	1.7
		Pc	217.8	4.6	2.4	2.2	0.5	4.1	2.0	1.5	1.1	1.5	5.7
		Kk	2450	11	0.3	3.7	0.2	0.9	1.0	0.6	0.5	0.6	425
V2－3	9	G	2.93	0.7	29.9	44.7	15.9	2.57	0.4	6.7	0.045	0.5	0.93
		Pc	65.11	3.7	3.6	2.2	0.4	5.1	1.3	1.3	1.1	0.9	3.1
		Kk	732.5	8.8	0.5	3.7	0.2	1.2	0.7	0.5	0.5	0.4	232.5
背景值			0.045	0.19	8.2	20.7	44.5	0.5	0.3	5.2	0.04	0.54	0.3
元素地壳克拉克值（黎彤，1976）			0.004	0.08	63	12	94	2.2	0.6	13	0.089	1.3	0.004

矿体	样数		含量特征											
			Mn	Co	W	Ni	Cr	Ti	Sn	V	F	Cl	Sr	Ba
I	20	G	800								1677	889	137	727
		Pc	1.2											
		Kk	0.6								3.7	3.2	0.3	1.9
V	34	G	252	2.6	10.0	3.5	9.3	1156.1	2.3	13.0				
		Pc	0.4	1.3	1.0	0.4	0.7	1.0	0.9	3.3				
		Kk	0.2	0.1	9.1	0.04	0.08	0.2	1.4	0.09				
I＋V	54	G	355											
		Pc	0.5											
		Kk	0.3											
V1－1	10	G	254	2.6	11.0	3.8	10.4	1075.9	2.2	12.9				
		Pc	0.4	1.3	1.1	0.5	0.7	0.9	0.9	3.2				
		Kk	0.2	0.1	10.0	0.04	0.09	0.2	1.3	0.09				

续表

矿体	样数		含量特征											
			Mn	Co	W	Ni	Cr	Ti	Sn	V	F	Cl	Sr	Ba
V2-1	10	G	255	2.9	10.9	3.7	8.6	1156.5	2.4	13.4				
		Pc	0.4	1.5	1.1	0.5	0.6	1.0	0.95	3.4				
		Kk	0.2	0.1	9.9	0.04	0.08	0.2	1.4	0.1				
V2-2	5	G	239	2.6	10.0	3.5	9.0	1272.3	2.4	14.3				
		Pc	0.4	1.3	1.0	0.4	0.6	1.1	1.0	3.6				
		Kk	0.2	0.1	9.1	0.04	0.08	0.2	1.4	0.1				
V2-3	9	G	255	2.4	8.1	3.0	9.1	1186.6	2.1	12.1				
		Pc	0.4	1.2	0.8	0.4	0.7	1.0	0.8	3.0				
		Kk	0.2	0.1	7.4	0.03	0.08	0.19	1.24	0.09				
背景值			673.5	2.0	10.0	8.3	13.9	1159	2.5	4.0				
元素地壳克拉克值（黎彤，1976）			1300	25	1.1	89	110	6400	1.7	140	450	280	480	390

（2）不同成矿阶段黄铁矿中元素含量（表2-1-8）特征：①各阶段黄铁矿中都含有较高的Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Ni、Co、Se、Te、S；②Au、Ag以Ⅲ、Ⅱ阶段最高；Pb含量是Ⅳ > Ⅲ > Ⅱ > Ⅰ阶段；Zn含量是Ⅳ > Ⅱ > Ⅰ > Ⅲ阶段；As含量是Ⅳ > Ⅱ > Ⅲ > Ⅰ阶段；Se是Ⅲ、Ⅳ阶段高；③Ⅰ阶段以高Ni、S、S/Se为特点；Ⅲ阶段以Au、Ag、Co、Bi、Se、Te、Au/Ag、Bi/Te高为特点；Ⅳ阶段以高Cu、Pb、Zn、As为特点。不同成矿阶段黄铁矿中微量元素含量大致反映了不同成矿阶段元素含量特征。

表2-1-8　山东新城不同阶段黄铁矿中微量元素含量特征（10^{-6}）

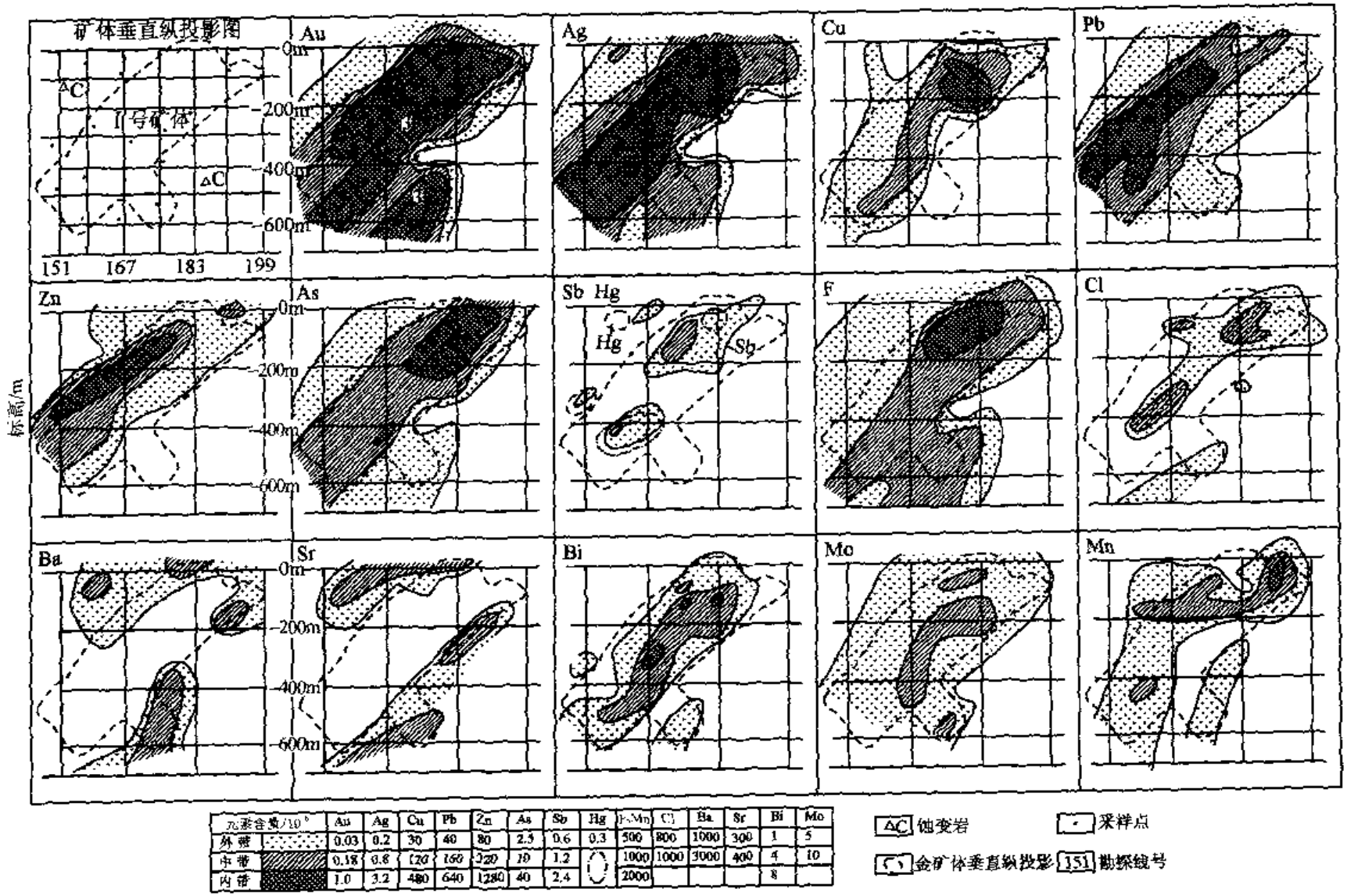
成矿阶段	样品数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	As	Bi	Se	Te	S%	Au/Ag	Co/Ni	Bi/Te	Se/Te	S/Se 10^4
Ⅰ	1	10.1	10.9	1100	110	150	70	90	54	8	2.7	7.3	50.8	0.93	0.778	1.1	0.51	13.7
Ⅱ	4	37.1	52.1	1600	960	220	130	27	440	14	4.3	7.7	49.87	0.71	4.77	1.81	0.55	11.6
Ⅲ	1	389	171	20	1350	120	140	38	240	130	5.0	16	49.12	2.27	3.66	8.1	0.31	9.8
Ⅳ	1	6.45	50.7	3800	5800	3100	110	13	2580	10	4.4	2.7	49.82	0.13	8.46	3.7	1.62	11.3

（据汪山资料整理）

四、矿床构造叠加晕特征

1. 1987年研究成果及预测结果

（1）1987年山东地质六队探明了Ⅰ号矿体，我院研究了该矿床地球化学异常分带特征（图2-1-15），从Ⅰ号矿体构造叠加晕垂直纵投影图可以看出：Hg、As、Sb异常分布于矿体头部及上部，Cu、Pb、Zn异常分布于中部（反应了多金属硫化物阶段的叠加部位），矿体较富，Ba、Sr异常呈帽状分布于矿体头部。Au、Ag异常中心偏于矿体的中上部。



元素含量/10⁻⁶	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	F-Mn	Cl	Ba	Sr	Bi	Mo
外带	0.03	0.2	30	40	80	2.5	0.6	0.3	500	800	1000	300	1	5
中带	0.18	0.8	120	160	320	10	1.2		1000	1000	3000	400	4	10
内带	1.0	3.2	480	640	1280	40	2.4		2000				8	

图 2 –1 –15 山东新城金矿床 I 号矿体构造叠加晕垂直纵投影图
(据李惠, 1987)

（2）在Ⅰ号矿体侧下方出现了 Au、Ag、Pb、As、F、Cl、Ba、Sr、Bi、Mo、Mn 综合异常，与Ⅰ号矿体异常呈雁行式排列，而且异常具有矿体前缘晕特征，预示了深部有盲矿存在。计算分带序列从上→下是：（Ag、Au、Cu、Sb、Bi、Te）—（As、Pb、Mo）—Ba、Se—Co、Mn、Zn、Ni，该分带序列中 As、Ba 偏下，“反分带”指示了深部有盲矿前缘晕叠加，这种预测正好与 1994 年探明的深部Ⅴ号盲矿体相对应。

（3）Ⅰ号矿体石英包裹体地球化学异常特点是：$\overline{D}_{H_2O}$（水的红外光谱相对光密度平均值），气相成分中 CO_2、CH_4、CO 气晕和液相成分中 F^-、Cl^- 离子晕，均分布于矿体头部和前缘，在右下部也出现了同样的气晕和离子晕（图 1－3－6），研究认为右下方的气晕和离子晕是深部盲矿前缘晕的叠加结果。

（4）新城金矿为缓倾斜（倾角 26°～30°）隐伏矿床，地表被第四系所覆盖，厚5～20m。1987 年我院研究了隐伏盲矿垂直上方土壤中的后生叠加晕，分别采用了偏提取技术和热释技术，图 2－1－16 是土壤热释卤素 F、I 异常分布图，F 异常与深部盲矿具有很好的对应关系，热释 I 异常分布于隐伏矿体头部。

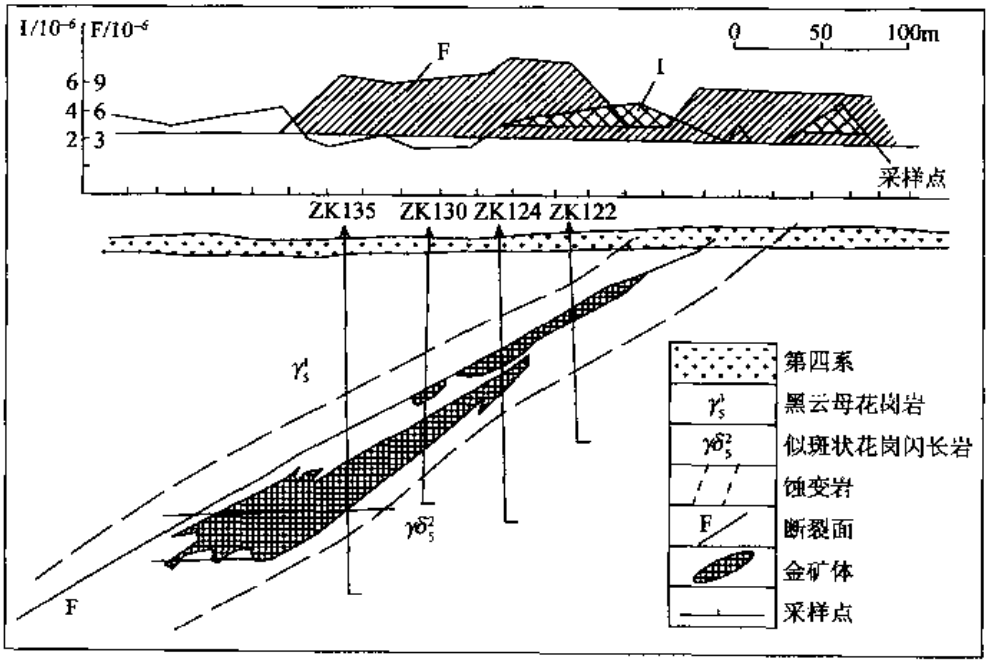
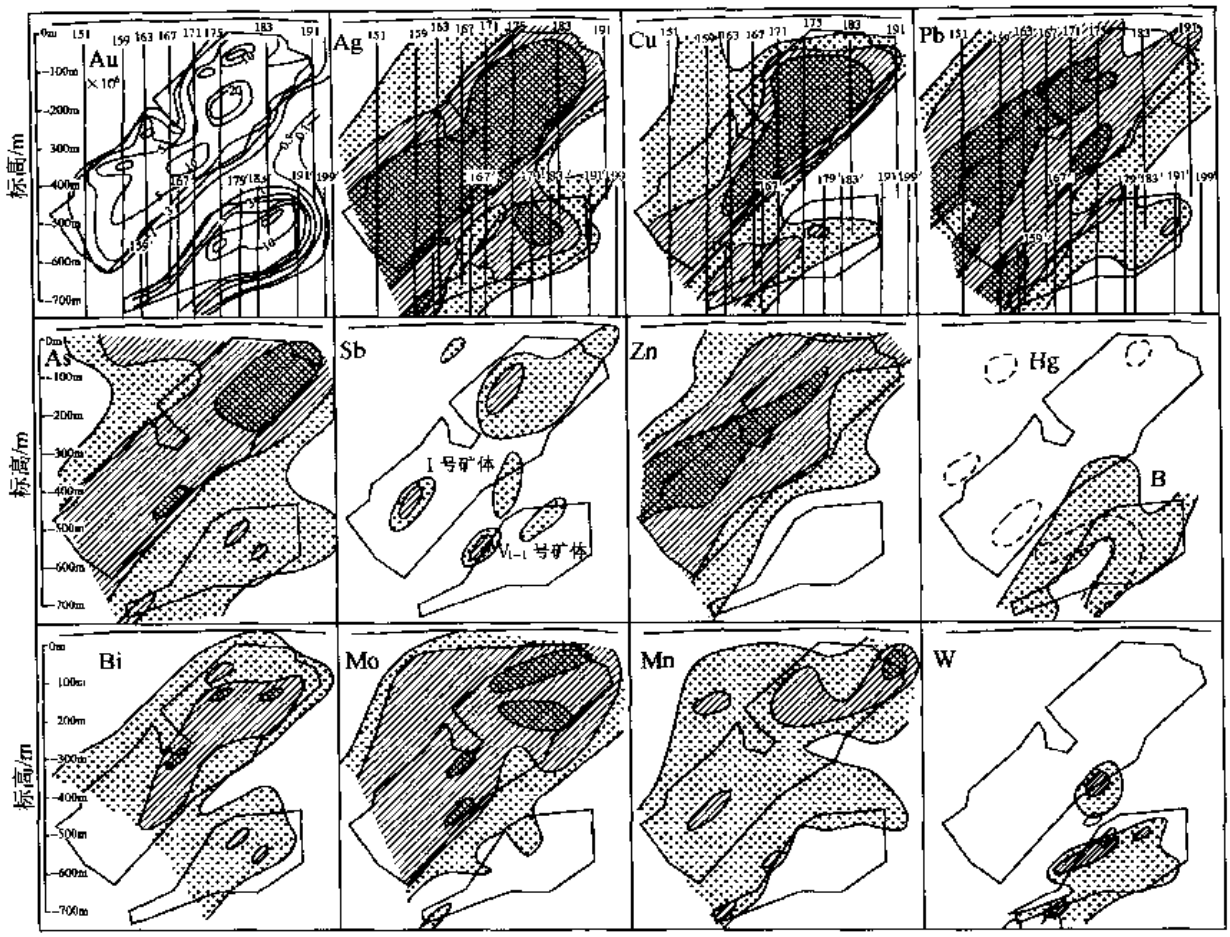


图 2－1－16　山东新城金矿床地表土壤后生叠加晕—热释卤素异常剖面图

2. 1997 年研究成果及预测效果

在 1987 年研究成果的基础上，为进一步建立新城金矿床的叠加成矿成晕模型，继续研究了新发现的Ⅴ号盲矿的地球化学异常特征，并将Ⅰ号、Ⅴ号矿体作为一个成矿地球化学系统进行了研究，图 2－1－17 是Ⅰ、Ⅴ号矿体构造叠加晕垂直纵投影图，图 2－1－18 是 175 线构造叠加晕剖面图。其总体特征是：

（1）在矿体周围形成异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、Co、W、Mn 等。其中 Cu、Pb、Zn、As、Mo、Bi 等元素异常在上部Ⅰ号矿体比下部Ⅴ号矿体群强度高、范围大，反映了Ⅴ号矿体多金属硫化物阶段叠加很弱。



元素含量/10⁻⁶	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	B	Bi	Mo	Mn	Co	W
外带	0.2	20	40	40	2.5	0.6	0.04	6	1	1	500	5	10
中带	0.8	80	160	160	10	1.2	0.1	15	4	5	1000	10	20
内带	3.2	320	640	640	40	2.4			8	10			

图 2－1－17　山东新城金矿床Ⅰ、Ⅴ号矿体构造叠加晕垂直纵投影图

（据李惠，1998）

（2）As、Sb、Hg、B、F、W 的强异常分布于矿体上部及前缘，为前缘晕特征指示元素，而 Au、Ag 异常正相关，Bi、Mo、Mn、Co 异常偏于矿体下部及尾晕，Cu、Pb、Zn 异常分布部位为多金属硫化物阶段叠加部位，矿体一般较富。

（3）从 175 线原生叠加晕可以看出，在Ⅰ号矿体尾部，主断裂面向下由缓变陡→再向下由陡→缓时，则出现了Ⅰ号矿体的尾晕与其下方Ⅴ号矿体的前缘晕共存，即除出现了 Au、Ag 等元素异常叠加外，还出现了Ⅰ号矿体的尾晕 Bi、Mo、Co 异常与Ⅴ号矿体的前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、W 异常共存。

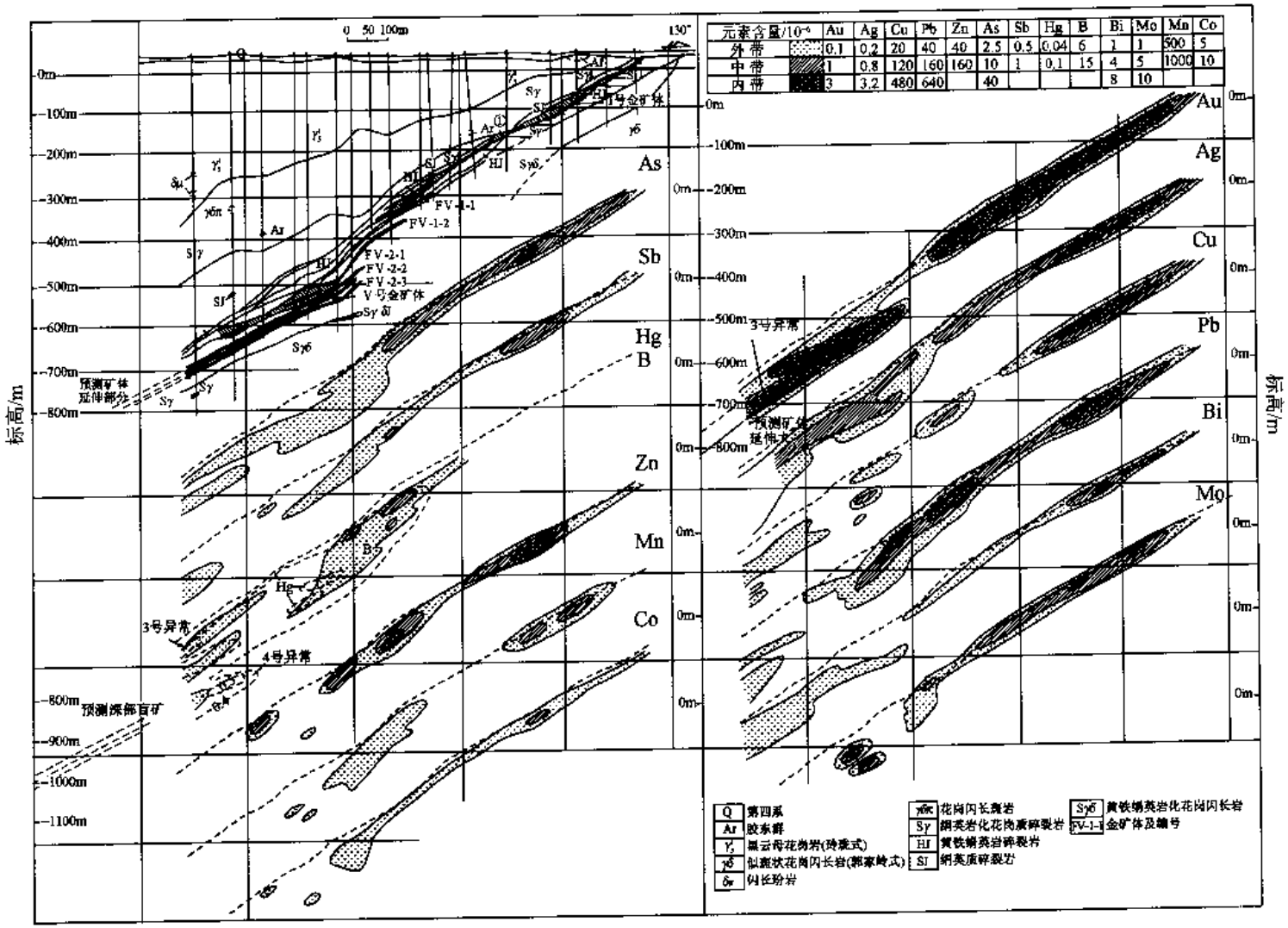


图2-1-18 山东新城金矿床175线构造叠加晕剖面图

(据李惠, 1998)

五、矿床构造叠加晕模型

（1）成矿成晕特征：①各主要成矿阶段热液都含有一定量 As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn 等，每个阶段在成矿过程中都具有明显的正向地球化学垂直分带，每个阶段所形成的矿体都有自己的头、尾晕，而且 As、Hg、Sb 等在每个成矿阶段形成矿体的原生晕中都是在矿体前缘富集形成前缘晕，而 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 则富集于矿体尾部，形成尾晕；②当第Ⅱ阶段形成矿（晕）叠加在第Ⅰ阶段形成矿体（晕）上或第Ⅲ阶段形成矿（晕）叠加于第Ⅰ、Ⅱ阶段形成的矿体（晕）上或部分叠加的部位，则先形成矿体或晕的元素会发生活化迁移，使原来的分带结构遭到一定程度的破坏，但大量资料研究表明各阶段形成矿体及其晕仍能在一定程度上显示其垂直分带性，几个阶段形成矿体或晕的叠加形成了复杂的叠加晕；③同一阶段形成的串珠状矿体有总体的前、尾晕，但其每个矿体又有自己的头、尾晕。

（2）新城金矿受构造控制，构造活动有脉动性，成矿（晕）也具有多期多阶段叠加的特点，Ⅱ、Ⅲ为主成矿阶段；在空间上几个主成矿阶段同位叠加部位往往形成富矿，在富矿体周围具有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 强异常，每一次成矿都形成了自己的前缘晕和尾晕，因此在研究叠加晕时，关键是抓住单阶段形成矿体的前、尾晕特征指示元素。

（3）矿床构造叠加晕模式（图 2－1－19）的特征：①前缘晕指示元素为 Hg、As、Sb、F、B、W，尾晕元素是 Bi、Mo、Co、Mn。已知矿体深部若出现前、尾晕共存指示矿体向下延伸很大或深部还有盲矿存在；②土壤热释卤素 F 异常范围可指示深部隐伏缓倾斜矿体的相对位置；I 异常分布于矿体赋存部位正上方及前缘构造出露部位；③矿床包裹体的前缘晕是 CO_2、CO、CH_4 气晕和 F^-、Cl^- 离子晕 $\overline{D}_{CO_2}$。

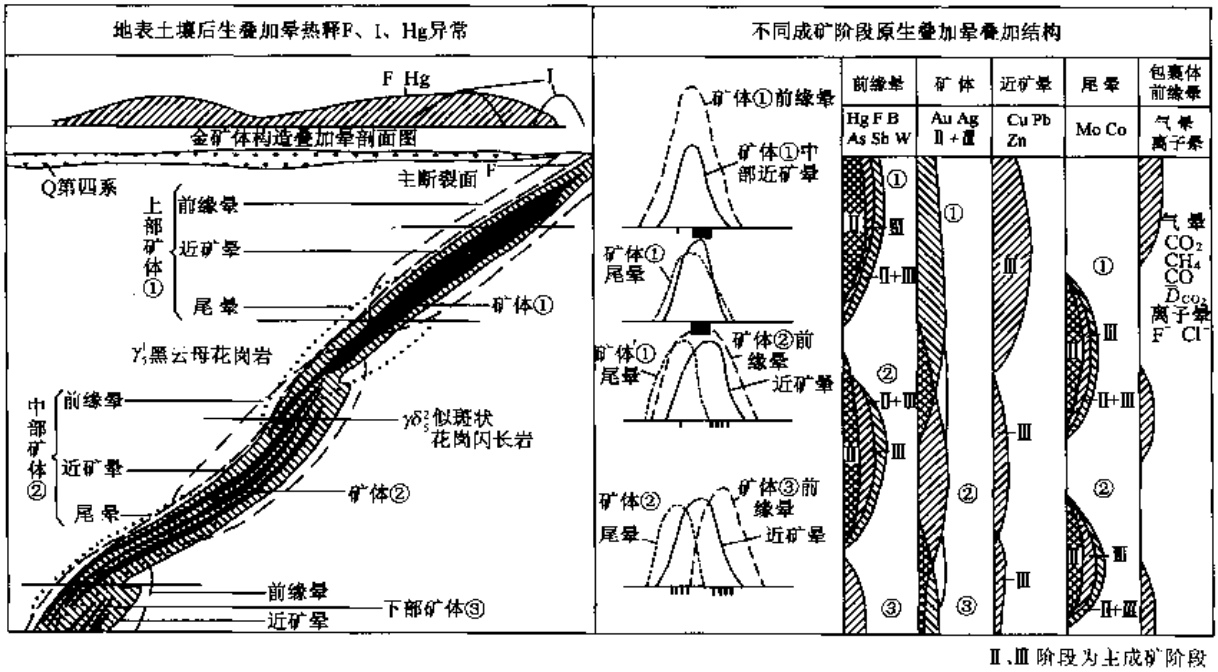


图 2－1－19　山东新城金矿床构造叠加晕模式剖面图

（据李惠，1998）

六、预测结果及验证效果

应用总结出的矿床叠加晕模型，对矿体深部进行预测，1987 年对Ⅰ号矿体构造叠加晕研究指出：深部还有盲矿存在，被 1996 年矿山勘探发现Ⅴ号矿体证实；1998 年又进一步研究了Ⅰ、Ⅴ号矿体构造叠加晕特点，提出四个预测靶位，2005 年矿山在靶位预计打 10 个钻孔，现已打三个孔，均见矿体。

模型 6　山东招远大尹格庄金矿床隐伏矿定位预测的叠加晕模型

大尹格庄为特大型隐伏蚀变岩型金矿盲矿床，研究和建立了构造叠加晕与地表土壤后生叠加晕联合定位预测盲矿的模型[15]。

一、矿床规模及类型

山东招远大尹格庄金矿床是特大型－蚀变岩型金矿床。

二、矿床地质特征

大尹格庄金矿为特大型隐伏蚀变岩型金矿床，产于招平断裂带中段。招平断裂带在该段走向 NE20°，倾向 SE，倾角 21°～54°，宽 40～80m，最宽 140m。断裂带上盘为胶东群黑云母斜长变粒岩、斜长角闪岩、石榴黑云片岩等，下盘为郭家店花岗闪长岩。断裂带有明显的主断裂面。下盘花岗岩在断层泥（0.1～2m 厚）之下有糜棱岩、碎裂岩。蚀变岩可分为黄铁绢英岩化带、绢英岩化带和绢英岩化碎裂花岗岩。金矿体赋存于下盘黄铁绢英岩化带内。断裂带上盘老地层蚀变以碳酸盐化为主，夹有绿泥石化，黄铁绢英岩化微弱。

矿区共圈出 30 个矿体。1、2 号矿体为主矿体，分别占总储量 48.8% 和 34.7%，其余为小矿体。1、2 号矿体分别位于近南北向（NE20°）的大尹格庄断裂的南北两侧，赋存于主断裂面下盘的黄铁绢英岩中。2 号矿体（北矿）长 930m，最大延深 550m，矿体厚度 0.9～37m，平均品位 4.17×10^{-6}，离主断裂面 8～71m，一般为 35m。矿体产状与主断裂总体一致。矿体品位与厚度有正相关关系。1 号矿体与 2 号矿体特点基本相似，但规模稍小。两个矿体深部均未尖灭，为隐伏（盲）矿床。

矿石矿物组合：以黄铁矿、石英、绢云母为主，次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等。金矿物主要有自然金、银金矿，主要呈晶隙金、裂隙金和包体金存在于黄铁矿和石英中。矿石呈浸染状、细脉状、网脉状、团块状等。

成矿阶段：可分为四个阶段：Ⅰ：金－石英－（粗粒）黄铁矿阶段；Ⅱ：金－石英－（细粒）黄铁矿阶段；Ⅲ：金、银－石英－黄铁矿－多金属硫化物阶段；Ⅳ：银－石英－

铅锌矿化阶段。各阶段银金矿物生成顺序是自然金→银金矿→自然银→银的硫化物及硫盐矿物。其中Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段。该矿具明显多期多阶段叠加成矿成晕的特点。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床元素组合（衬值大于1，浓集克拉克值大于1）：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Mn（表2-1-9）。若仅衬值大于1，则元素组合为：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mn、Co。

表2-1-9 大尹格庄金矿床矿体元素含量（G）、衬度值（Pc）、浓集克拉克值（Kk）表

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	B	Hg	Mo	Bi	Mn	Co	W
G	3.95	17.26	303.16	1087.9	332.1	15.0	1.9	20.8	0.016	0.79	7.8	368.3	4.8	3.2
Pc	2079	215.8	30.3	90.7	8.7	10.7	3.2		0.53	0.53	15.1	26.9	1.3	
Kk	987.5	215.8	4.81	90.66	3.53	0.8	3.2	1.6	0.18	0.61	19500	2.83	0.19	2.91
背景值	0.0019	0.08	10	12	38	1.4	0.6		0.03	1.5	0.5	137	3.6	
地壳克拉克值（黎彤，1976）	0.004	0.08	63	12	94	2.2	0.6	13	0.089	1.3	0.004	1300	25	1.1

G. 背景值和地壳克拉克值的单位为10^{-6}。

（2）不同蚀变带中元素带入带出的特点是从上盘的碳酸盐化变粒岩-→下盘的黄铁绢英岩带→黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带→绢英岩化花岗闪长岩带，常见带入元素有Si、Fe、K，带出元素有Al、Mg、Ti、Ca、Na。在黄铁绢英岩化带K的带入量最多，Mg的带出量最多。

（3）两个主成矿阶段黄铁矿微量元素含量特点：主成矿阶Ⅰ→Ⅱ段黄铁矿中Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Bi、Se含量升高，而S、Co、Ni含量降低。Ⅰ、Ⅱ两个成矿阶段的共性是都含有较高的Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Se、Bi、Co、Ni。多个成矿阶段在空间上同位叠加部位矿体品位较高（表2-1-10）。

表2-1-10 大尹格庄Ⅰ、Ⅱ成矿阶段黄铁矿中微量元素含量特征

成矿阶段	Fe	S	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Se	Bi	Co	Ni
Ⅰ-石英-粗粒黄铁矿	45.74	53.12	100	1700	100	100	600	500	100	200	200	900
Ⅱ-石英-细粒黄铁矿	46.34	52.9	200	2000	700	400	700	700	400	1700	100	500

Fe、S含量单位为%，其余元素含量单位为10^{-6}。

四、叠加晕特点及叠加晕模型[15]

1. 构造叠加晕特征

大尹格庄为缓倾斜（倾角30°±）隐伏矿体。隐伏矿体头部沿轴向到地表断裂带露头320~350m，到地表垂深240~280m，地表被冲积层（厚n~$n\times10$m）覆盖。叠加晕总体特征是：在矿体周围能形成异常的元素有Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、B，而且能在矿体轴向前缘300多米的地表构造带中形成明显构造地球化学异常。其中Sb、Hg、B

(As) 异常更明显，是前缘晕特征指示元素。Au、Ag、Cu 异常有正相关关系。Pb、Zn 异常分布区为多金属硫化物叠加部位，矿体一般较富。通过上述研究工作，结合本地区资料得出：各主要成矿阶段热液都含有一定量 As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn 元素，每个阶段在成矿过程中都具有明显的正向地球化学垂直分带，而且 As、Hg、Sb 等在每个成矿阶段的矿体原生晕中都形成前缘晕，而 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 则多集中在矿体尾部，形成尾晕。

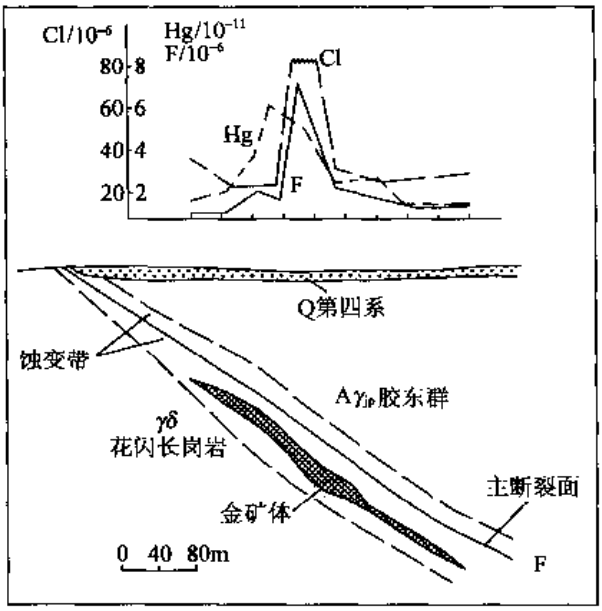


图 2－1－20　金矿床地表土壤后生叠加晕－热释卤素、热释汞异常剖面图

2. 地表土壤后生叠加晕特征

为研究缓倾斜矿体地表冲积层覆盖区的垂向后生叠加晕，采用土壤热释法（热释温度 150℃较好）研究了土壤吸附相态 Hg 和卤素（F、Cl）的异常。由于剖面长度不够，因而未能获得在金矿蚀变带上方地表异常的情况，但在距矿体 300 多米的正上方土壤中发现了明显的热释 Hg、F、Cl 异常（图 2－1－20）。其中 Hg 峰值偏于隐伏矿体上部，而 F、Cl 异常峰值与矿体中部对应。

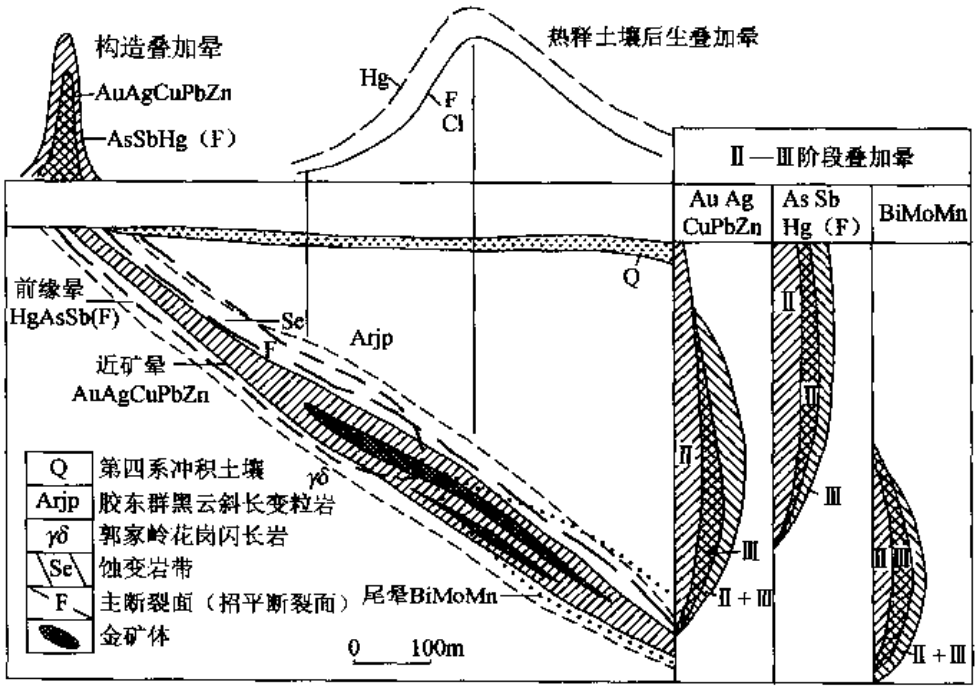


图 2－1－21　金矿床构造叠加晕与土壤后生叠加晕联合定位预测深部盲矿模型剖面图

3. 盲矿定位预测的原生—后生叠加晕模型

根据原生叠加晕和土壤后生叠加晕特点，初步建立了大尹格庄金矿床构造叠加晕－土壤后生叠加晕联合定位预测深部盲矿模型（图2－1－21）。构造叠加晕可指示深部盲矿存在，而地表土壤后生叠加异常范围可指示深部隐伏矿（盲矿）范围。构造叠加晕与土壤后生叠加晕结合，为缓倾斜隐伏（盲）矿深部定位预测提供了新思路、新方法。

模型7　山东招远灵山沟金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

建立了灵山沟大型金矿床的构造叠加晕模型[16]，用模型对深部预测，经验证，已初步取得了好的效果。

一、矿床规模及类型

山东招远灵山沟金矿床是大型－石英脉－蚀变岩型金矿床。

二、矿床地质特征

灵山沟金矿为大型蚀变岩型（5号矿脉）金矿床。处于山东招－掖金矿带焦新金矿田内，产于灵北断裂下盘次级NE向断裂中，矿体的直接围岩是玲珑花岗岩。已发现数十条矿脉，其中以1号和5号脉为主矿脉，1号脉上部矿体为石英脉型，下部为蚀变岩型，5号脉矿体是主矿体，属破碎带蚀变岩型。5号脉长1200m，宽1～22m，一般宽度为6m，走向NE40°～60°，倾向SE，倾角54°～82°，其中主矿体地表长不足200m，矿体向NE方向侧伏，延伸>1300m（侧伏角45°±），垂深>600m。矿体呈舒缓波状，膨缩现象明显。

成矿阶段：Ⅰ：石英－黄铁矿阶段；Ⅱ：金－多金属硫化物阶段；Ⅲ：碳酸盐阶段，其中Ⅰ、Ⅱ阶段为主成矿阶段。

围岩蚀变：硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、钾化等，其中前3种蚀变与金的成矿富集关系密切。

矿物组合：金属矿物主要为黄铁矿，其次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、磁黄铁矿等。金矿物主要为自然金、银金矿等。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床的元素组合：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn。

（2）不同蚀变带元素带入带出特点：由矿脉→近脉→远脉，蚀变分带为：黄铁硅质岩和黄铁绢英岩（金矿体）→绢英岩化花岗岩→绢云母化花岗岩→未蚀变花岗岩。蚀变过程

中不同蚀变带各元素的带入带出特点（图 2－1－22）是：①成矿元素 Au，伴生元素 Ag、Cu、Bi，控矿元素 Si，矿化剂元素 S 等，从近矿矿体蚀变→远矿蚀变带入量逐渐减少，As、Sb 也有类似规律；②K、Rb、Ba 带入呈正相关，Na、Sr、Mn 带出呈正相关；③在黄铁硅质岩中，Au、Ag、Fe、S、Cu、Si 带入最多，Au 品位最高。

（3）不同阶段元素组合特征，根据灵山沟金矿的成矿作用的三个阶段（石英－黄铁矿阶段，金－多金属硫化物阶段和碳酸盐阶段）的矿物组合、蚀变特点、各种矿物含量比例及其主要成分、微量元素含量特征，总结出了灵山沟金矿床不同成矿阶段成矿元素、伴生元素、矿化剂元素及控矿元素的沉淀模式（图 2－1－23），其特点是：

石英－黄铁矿阶段（Ⅰ）：（均一温度 360～480℃）。主要沉淀的元素有 Si、S、Fe，其次有 Au、Ag、K 少量沉淀，该阶段形成了以石英、黄铁矿为主、绢云母为辅的矿物组合，只有少量金矿物组成，且很难形成金矿体。

金—多金属硫化物阶段（Ⅱ）：（均一温度 250℃ ±）是金矿的主要成矿阶段。该阶段成矿溶液带来了大量 Au 及其伴生元素 Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg，矿化剂元素 S、F、Cl 及控矿元素 Si、K、Fe 等，并沉淀形成了大量石英、黄铁矿及金—银矿物的

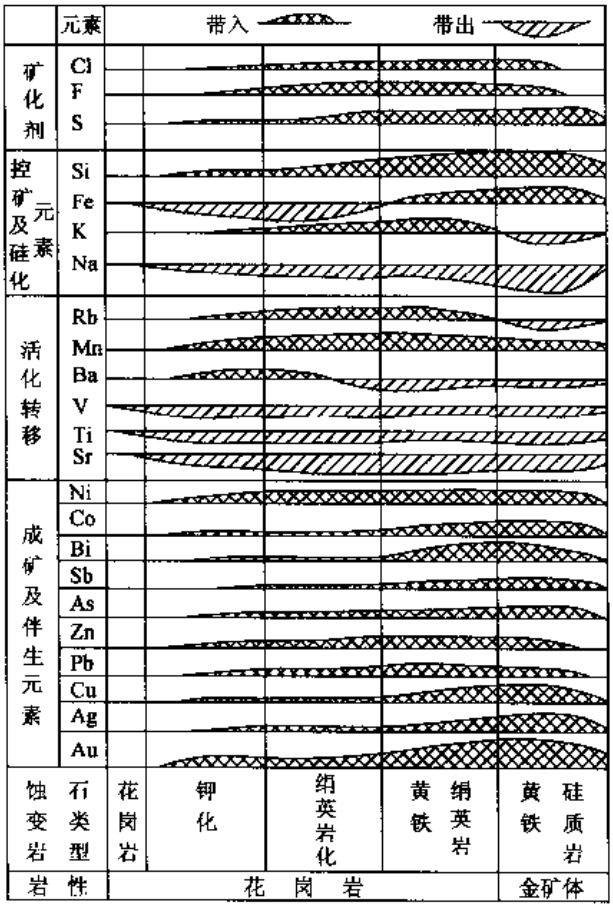


图 2－1－22　山东招远灵山沟金矿床不同蚀变岩中元素带入带出模式图

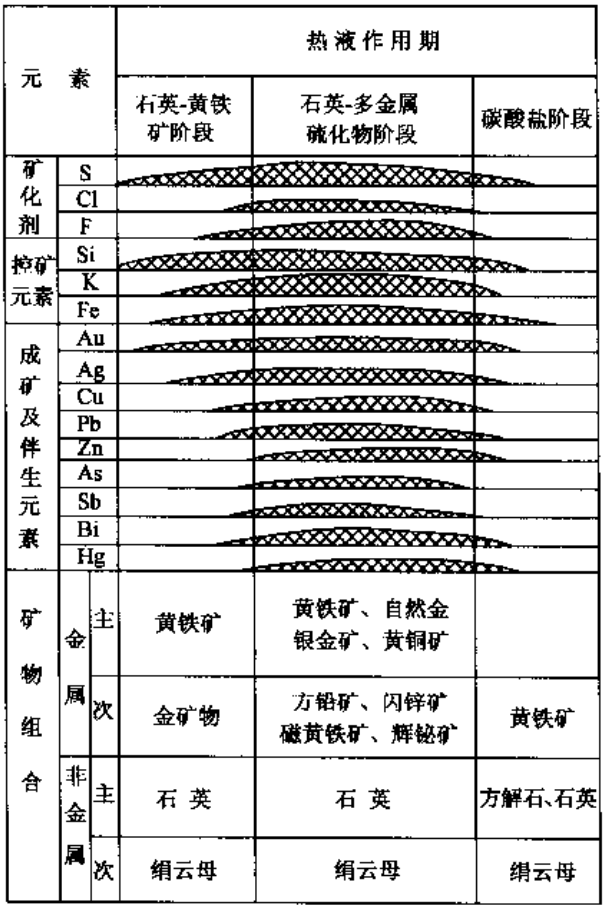


图 2－1－23　山东招远灵山沟金矿床不同成矿阶段元素沉淀模式及矿物组合图

富集，是主要成矿阶段，也是黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、斜方辉铅铋矿及绢云母的主要沉淀阶段。该阶段与第Ⅰ阶段叠加部位形成富矿体。

碳酸盐阶段（Ⅲ）：该阶段沉淀的主要元素有 Si、Ca、CO_2，但 Fe、S、Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Hg 也有少量沉淀。该阶段形成的矿物组合是方解石和石英，也有极少量硫化物生成，不能形成金矿体。其与第Ⅰ阶段叠加部位形成贫矿，与第Ⅱ阶段叠加部位，使 Au 品位增高。

四、矿床地球化学轴（垂）向分带特征

1. 原生晕轴（垂）向分带序列

从上→下是 Au、Cu、Ag－Sb、As－Pb－Zn－Bi、Mo、Mn。As、Sb 偏下，指示矿体向下延伸还很大。

2. 地球化学轴（垂）向变化规律（表 2－1－11）

表 2－1－11　灵山沟金矿五号脉轴（垂）向元素及比值或分带指数变化规律

轴向截面		元素含量/10^{-6}				分带系数							
侧伏延深/m	截面	Au	Zn	Sb	Mn	$\frac{As}{Bi}$	$\frac{Mn}{Zn}$	$\frac{Mn \cdot Co}{Zn \cdot Ag}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Mn \cdot Bi}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Mn \cdot Mo}$	$\frac{Mn \cdot Mo \cdot Bi}{Zn \cdot Pb \cdot Sb}$	$\frac{Mn \cdot Co \cdot Mo}{Ag \cdot Sb \cdot Zn}$	$\frac{Mn \cdot Mo \cdot Co \cdot Bi}{Zn \cdot Cu \cdot As \cdot Sb}$
0	1	9.03	64	1.04	533	1.36	8.33	15.65	3.55	0.824	3.02	169.5	1.03
300	2	1.85	55	0.72	573	1.09	10.4	69.69	2.60	0.625	4.44	833.3	12.5
600	3	1.15	50	0.66	729	0.94	14.6	113.5	1.77	0.392	9.32	1886.8	16.7
1000	4	3.46	70	0.77	548	0.42	7.80	78.69	2.28	0.581	5.82	1041.8	14.3

（1）元素轴（垂）向变化规律：从上至下即从第 1 至 3 截面，Au、Sb、Zn 等逐渐降低，往下第 4 截面又升高，说明下部 Au＞3g/t 浓集体向下延伸还相当大。Mn 相反，从上至下升高，到第 4 截面又降低。

（2）元素比值或分带性指数的变化规律：从上→下即从第 1→3 中段，Pb·Zn/Mn·Bi，Pb·Zn/Mn·Mo 逐渐降低，第 4 中段又回升；Mn·Mo·Bi/Zn·Pb·Sb，Mn·Co/Zn·Ag，Mn/Zn，Mn·Co·Mo/Ag·Sb·Zn，Mn·Mo·Co·Bi/Zn·Cu·As·Sb 逐渐升高，第 4 中段又降低。上述比值在第 4 中段的反转反映了矿体向下延伸还很大。

（3）不同标高黄铁矿中微量元素含量变化规律（表 2－1－12）。5 号矿体黄铁矿含 Au $23\times10^{-6}\sim40\times10^{-6}$，Ag $15\times10^{-6}\sim129\times10^{-6}$，As $52\times10^{-6}\sim119\times10^{-6}$，Sb $4.6\times10^{-6}\sim15.5\times10^{-6}$，Bi $40\times10^{-6}\sim134\times10^{-6}$。Cu、Pb、Zn 都在 $n\times10\times10^{-6}$ 间，从－80m→－190m→－230m 黄铁矿中 Au、Ag、Bi、Sb、Hg、Co、Ni 都有增高趋势，Co/Ni降低。这些特点反映了该矿体向下还有很大延伸（实际采样只是在矿体头部 140m 范围）。

表 2－1－12　灵山沟金矿不同标高黄铁矿中微量元素变化规律

脉号	标高/m	样号	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo	Ti	Mn	Co	Ni	Be	Co/Ni
5 号脉	－80	3	29.6	20.72	119	4.7	40	0.05	>1000	305	43	33	64	<50	75	96	8.5	0.78
	－190	1	23.52	15.05	52	4.6	42	0.07	257	>1000	>1000	24.5	60	<50	74	130	<5	0.57
	－190	2	28.48	16.38	80	5.1	40	0.09	35	740	<10	38	84	50	81	146	8.8	0.56
	－230	5	40.25	129.2	109	15.5	134	174	>1000	>1000	358	25	<50	<50	90	256	6.6	0.35
	平均	$\bar{X}$	30.46	43.3	90	7.48	64	43.6	823	1011	452	28.1	58	31	80	157	6.6	0.51

五、构造叠加晕特征及模型

通过对不同成矿阶段元素组合研究表明：第Ⅰ、Ⅱ阶段带来的成矿及伴生元素基本一致，包括 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg 等，但其含量第Ⅱ阶段远远高于第Ⅰ阶段，Cu、Pb、Zn 主要是多金属硫化物阶段带来；第Ⅰ阶段形成矿化或贫矿体，在第Ⅱ阶段的叠加部位形成富矿体；从五号矿脉构造叠加晕垂直纵投影图（图 2－1－24）可以看出，侧伏矿体中具有 3 个 Au 的浓集中心，相应其他元素也有多个浓集中心，其中 Au、Ag 的富集部位基本一致；As、Sb 富集于 Au 浓集中心的头部及前缘，Cu、Pb、Zn 强异常出现部位偏于 Au 浓集中心稍偏上，Bi、Mo、Co、Mn 强异常分布于 Au 浓集中心下部及尾部。

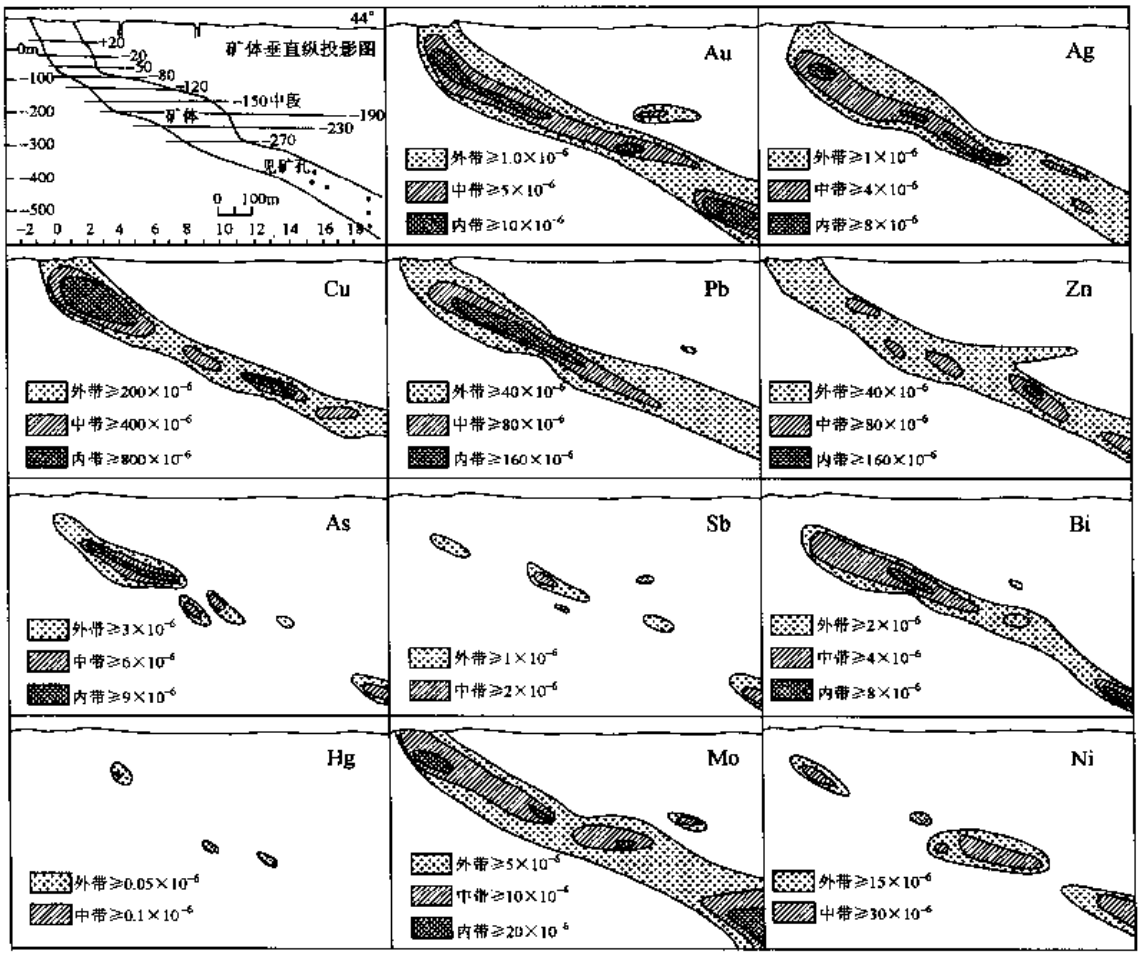


图 2－1－24　山东招远灵山沟金矿床五号矿脉构造叠加晕垂直纵投影图

研究表明：①各主要成矿阶段热液都含有一定量 As、Sb、Hg、Bi、Mo、Mn 等，每个阶段在成矿过程中都具有明显的正向地球化学垂直分带，每个阶段所形成的矿体都有自己的头、尾晕，而且 As、Hg、Sb 等在每个成矿阶段形成矿体的原生晕中都是在矿体前缘富集形成前缘晕，而 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 则富集于矿体尾部，形成尾晕；②当第Ⅱ阶段形成矿（晕）叠加在第Ⅰ阶段形成矿体（晕）上或第Ⅲ阶段形成矿（晕）叠加于第Ⅰ、Ⅱ阶段形成的矿体（晕）上或部分叠加的部位，则先形成矿体或晕的元素会发生活化迁移，使原来的分带结构遭到一定程度的破坏，但各阶段形成矿体及其晕仍能在一定程度上显示其垂直分带性，几个阶段形成矿体或晕的叠加形成了复杂的叠加晕；③同一阶段形成的串珠状矿体有总体的前、尾晕，但其每个矿体（矿结）又有自己的头、尾晕。

根据上述特征总结出了该矿床的构造叠加晕模式垂直纵投影图（图 2－1－25）。

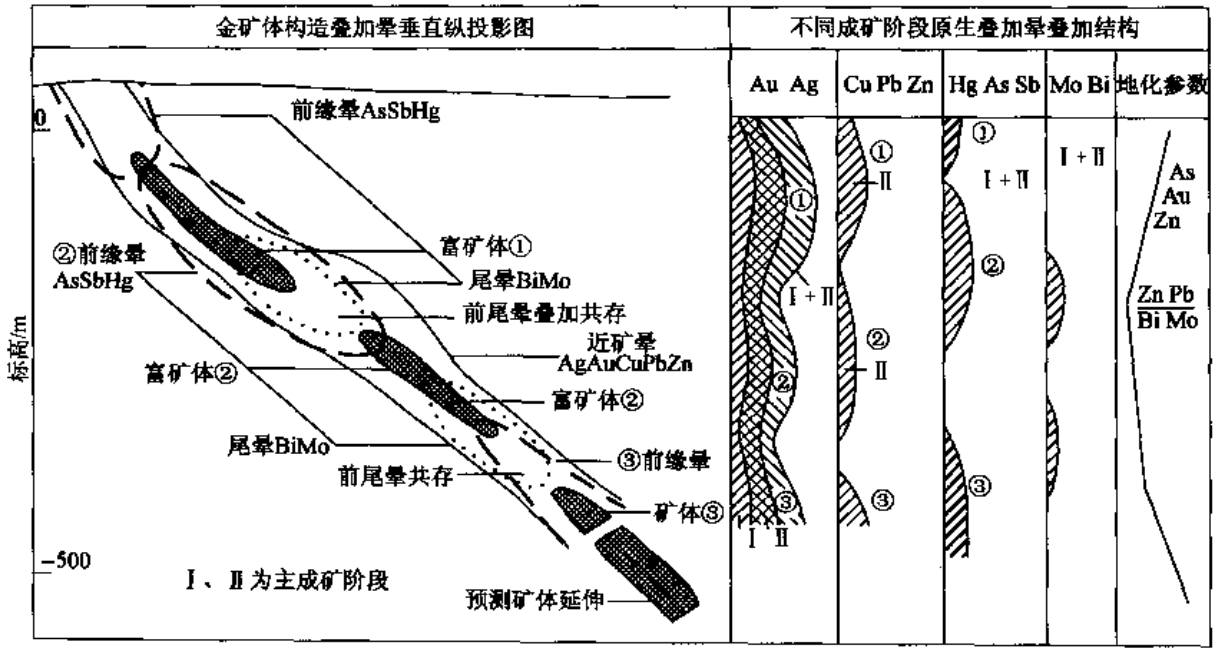


图 2－1－25　山东招远灵山沟金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图

六、深部预测

从图 2－1－24 可以看出，5 号矿脉深部－500m 出现了前缘晕指示元素 As、Sb 异常与尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn 异常共存，指示深部矿体刚露头，该矿向下至少还有 200m。后经矿山工程验证确有矿体存在（图 2－1－26）。

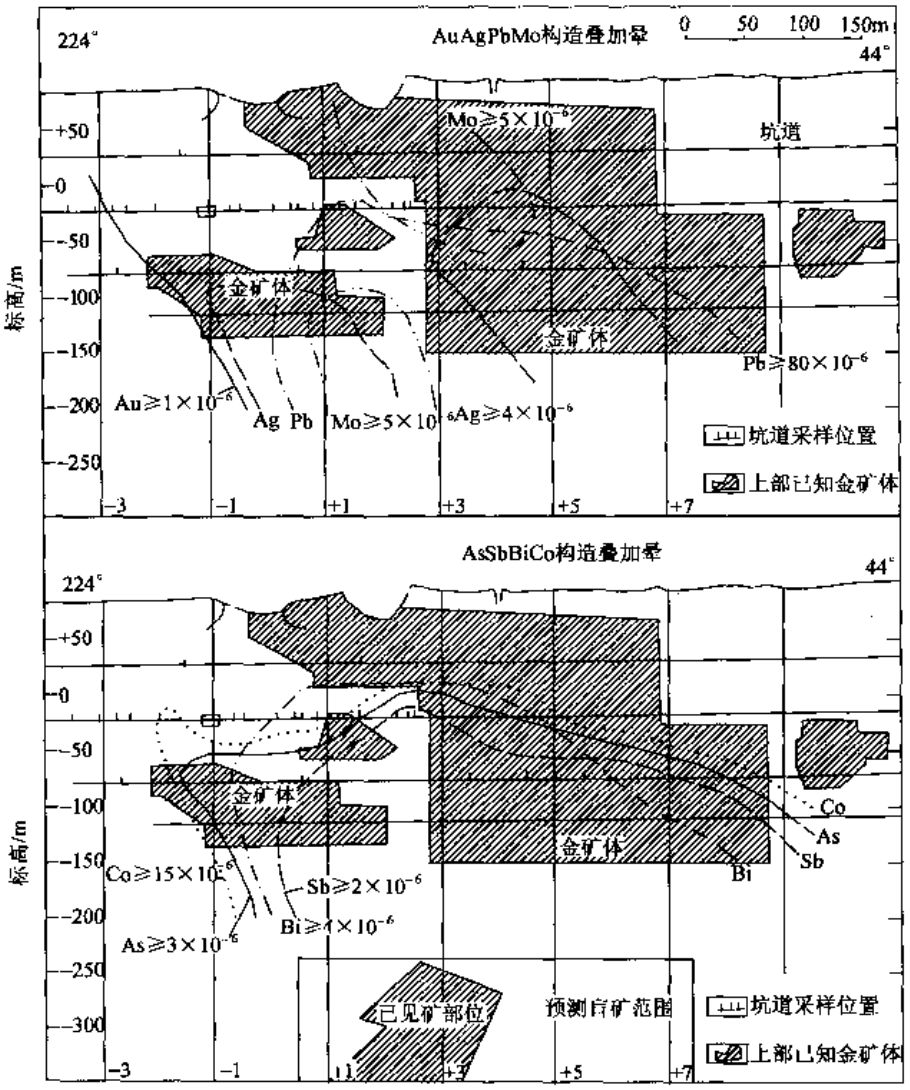


图 2－1－26　山东招远山沟金矿床 1 号矿脉构造叠加晕预测及深部见矿体垂直纵投影示意图

第二章　豫陕小秦岭典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

模型8　河南小秦岭杨砦峪金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果[17]

杨砦峪金矿床具有多期多阶段叠加成矿（晕）的特点，研究和建立了该矿床的构造叠加晕模型，总结出了应用模型找矿的准则。用模型预测，提出了五个盲矿靶位，初步验证后，已取得了显著效果。

一、矿床规模及类型

河南小秦岭杨砦峪金矿床是特大型－石英脉型金矿床。

二、矿床地质特征

河南小秦岭杨砦峪金矿床（60号脉）是一个大型金矿床，产于太古宙花岗岩－绿岩带中，区内出露地层主要为太华群中深变质岩系，是一套变质火山－沉积建造。花岗质岩石有太古宙TTG岩系、元古宙钾质花岗岩及燕山期钠质花岗岩。TTG岩系已变质和混合岩化，形成了钠质和钾质花岗质片麻岩。区内基性脉岩发育。小秦岭金矿严格受构造控制。60号矿脉赋存于近东西向（110°左右）的脆－韧性剪切带内，长约4400m，倾向175°～225°，倾角平均45°。矿脉分为东西两段，主要由含金石英脉及其两侧的构造岩组成，以单脉为主，局部有分支复合、膨缩现象，矿脉沿走向和倾向为舒缓波状延伸。矿脉中已圈出十几个矿体，其中东段有八个矿体，以1、2、3号矿体为主，3号矿体规模最大。主要围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化等。主要金属矿物为黄铁矿，次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等。金矿物主要是自然金、银金矿等，非金属矿物主要是石英、绢云母及碳酸盐矿物等。

三、矿床地球化学背景

太华群变质岩中金的背景：太华群变质岩中金的含量已有很多地质学家进行过研究，结果差别很大，最高为27×10^{-9}，最低为0.71×10^{-9}。总体看，随着研究程度的深入及对Au分析灵敏度的提高，从20世纪80年代到90年代所分析的金的平均值越来越低，可以说

逐渐趋于实际。综合已有资料可以得出太华群变质岩中金平均含量在 1×10^{-9} 左右，低于其地壳几何平均值（1.9×10^{-9}）。

四、矿床地球化学特征

1. 矿床的元素组合特征

为表示各矿床（体）元素含量特征，以各元素浓集克拉克值大于 1 为标准确定了各矿床（体）的元素组合。以少而精的元素组合表达出各矿床的区别和特性，确定了各矿床的特征元素组合，其标准是：Au > 1500（浓集克拉克值，下同），Ag > 20，Cu > 3，Pb > 6，Zn、As、Sb > 1，Bi > 100，Mn > 3，W > 200，Mo > 3，Ba、Co > 1。

（1）元素组合：东段矿体：Au、Ag、Cu、Pb、（As）、Sb、Bi、Mn、W、Mo；西段矿体：Au、Ag、Cu、Pb、Sb、Bi、Mn、W、Mo。

（2）特征元素组合：东段矿体：Au、Ag、Cu、Pb、Sb、W、Mo（Cu、Pb、W 表示特有元素）；西段：Au、Ag、Sb、Mo。

（3）相关元素：东段矿体：Au - Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Ba（-），Ag - Au、Cu、Pb、Zn、Ba（-），Cu - Au、Ag、Zn、Ba（-），Pb - Au、Ag、Cu、Zn，As - Ba、Mn、Co、Ni。（（-）表示负相关）；西段矿体：Au - Ag、Cu，Ag - Au、Cu，Cu - Au、Ag、Sb，As - Sb。相关元素对的共性：Au - Ag、Cu，Ag - Cu。

2. 不同成矿阶段元素组合特征

杨砦峪金矿床具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点，根据矿脉穿插关系、矿物组合特征及交代关系，可分为四个成矿阶段：Ⅰ：黄铁矿 - 石英阶段；Ⅱ：石英 - 黄铁矿阶段；Ⅲ：石英 - 多金属硫化物阶段；Ⅳ：石英 - 碳酸盐阶段。其中Ⅱ阶段为主成矿阶段，Ⅲ阶段仅在局部叠加。当Ⅰ、Ⅱ阶段叠加或Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段叠加时形成富矿。

（1）不同成矿阶段的元素组合特征：对四个成矿阶段分别采集样品并进行多元素分析和统计（表 2 - 2 - 1），结果表明，不同成矿阶段的元素含量既有很大共性，又有明显差异。以各元素的浓集克拉克值大于 1 为元素组合的标准，则不同成矿阶段的元素组合分别是：

Ⅰ：Au、Ag、Bi、Mo、Cu、Pb、W、Mn；

Ⅱ：Au、Ag、Bi、Mo、Cu、Pb、W、Sn、Mn；

Ⅲ：Au、Ag、Bi、Mo、Cu、Pb、Zn、Sb、W、Sn、Mn；

Ⅳ：Au、Ag、Bi、Mo、Cu、Pb、Ba、W、Sn、Mn。

各阶段元素组合都有 Au、Ag、Bi、Mo、Cu、Pb、W、Mn 等主要成矿及伴生元素，反映了该矿成矿具有稳定而相同的物源。

（2）不同成矿阶段元素含量的差异性：尽管各阶段元素组合有很大共性，但各元素含量有很大差异。据各元素在不同成矿阶段含量比例可以看出：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Hg、Sb、Ni、Ti 从第Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ都是逐渐升高，在第Ⅲ阶段平均含量达到高峰，到第Ⅳ阶段又剧降；在第Ⅲ阶段浓度比例占 30% 以上的元素有 Au、Ag、Cu、Zn、Sb、Hg、Ti、B、Ni、Co，第Ⅱ阶段浓度比例占 30% 以上的元素有 Au、Ag、Bi、As、Ni、Co、W、B。从各阶段元素含量浓度比也可以看出，第Ⅱ、Ⅲ阶段成矿溶液带来元素多、浓度高。第Ⅰ

阶段成矿溶液带来 Au 较少，而第Ⅳ阶段不成矿（表 2－2－1）。

表 2－2－1　杨砦峪 60 号矿脉不同成矿阶段元素含量、不同阶段元素含量比例及其浓集克拉克值

成矿阶段	元素含量平均值/10^{-6}					元素含量比例/10^{-2}				浓集克拉克值			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	地壳几何平均值①	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Au	1.37	6.45	7.96	0.57	0.00193	8.38	39.45	48.69	3.49	710	3342	4124	295
Ag	1.18	2.57	3.29	0.17	0.072	16.37	35.64	45.63	2.36	16.4	35.7	45.7	2.4
Bi	16.3	27.5	14.4	1.60	0.19	27.26	45.99	24.08	2.68	85.8	144	75.8	8.4
Mo	1.76	6.24	5.05	14.0	1.38	6.54	23.07	18.67	51.76	1.28	4.52	3.66	10.14
Cu	138	2.89	531	86	55.4	13.22	27.68	50.86	8.24	2.49	5.22	9.58	1.55
Pb	42.4	112	351	17	13.9	8.12	21.44	67.19	3.25	3.05	8.06	25.25	1.22
Zn	37.6	53.1	98.6	60.0	75.3	15.08	21.30	39.55	24.07	0.50	0.71	1.37	0.80
As	1.67	1.97	1.64	1.20	2.03	25.77	30.40	25.31	18.52	0.82	0.97	0.81	0.59
Sb	0.38	0.39	0.51	0.30	0.443	24.05	24.68	32.28	19.99	0.89	0.88	1.15	0.68
Hg	0.020	0.024	0.029	0.020	0.091	21.51	25.81	31.18	21.51	0.22	0.26	0.32	0.22
Ba	138	70.8	241	3000	454	4.00	2.05	6.99	86.96	0.30	0.16	0.53	6.61
B	3.46	6.01	6.01	2.5	11.2	19.24	33.43	33.43	13.39	0.31	0.54	0.54	0.22
Cr	33.5	31.1	30.8	18.0	116	29.54	27.43	27.16	15.87	0.29	0.27	0.27	0.16
Ni	6.65	11.5	12.0	5.0	81.1	18.92	32.72	34.14	14.22	0.08	0.14	0.15	0.06
Co	3.98	14.0	11.9	2.5	24.6	12.29	43.24	36.75	7.72	0.16	0.57	0.48	0.10
V	22.2	33.0	48.4	110	140	10.39	15.45	22.66	51.50	0.16	0.24	0.35	0.79
Mn	2.872	1.970	1.924	6800	1060	21.17	14.52	14.18	50.13	2.71	1.86	1.82	6.42
W	221	389	175	190	1.13	22.67	39.90	17.95	19.49	196	344	155	168
Sn	1.72	3.21	3.03	3.40	2.73	15.14	28.26	26.67	29.93	0.63	1.18	1.11	1.25
Ti	696	2363	3209	1700	6070	8.73	29.66	40.07	21.34	0.1	0.39	0.53	0.28
Sr	25.0	27.7	44.3	194	359	8.59	9.52	15.22	66.67	0.07	0.08	0.12	0.54
样数	20	32	49	1									

①据黎彤，1992。

（3）不同成矿阶段的特征元素组合：各阶段特征元素组合的标准是：Au、Ag＞10（浓集克拉克值，下同），Bi＞100、Mo＞4、Cu＞5、Pb＞10、Zn＞1、As≈1、Sb＞1、Ba＞1、Mn＞2、W＞180、Sn＞1 为标准，则不同阶段的特征元素组合是：Ⅰ：Au、Ag、Mn、W；Ⅱ：Au、Ag、Cu、Bi、Mo、As、W、Sn；Ⅲ：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Sn；Ⅳ：Au、Mo、Ba、Mn、Sn。

（4）不同成矿阶段元素沉淀模式：根据各阶段成矿及伴生元素含量关系，参照不同成矿阶段的矿物组合及其含量和各矿物中元素的分配特点，总结出了不同成矿阶段元素的沉淀模式（图 2－2－1），它不仅清楚地反映了不同成矿阶段元素沉淀多少及其元素组合，而且为不同阶段成矿成晕元素的叠加提供了依据。

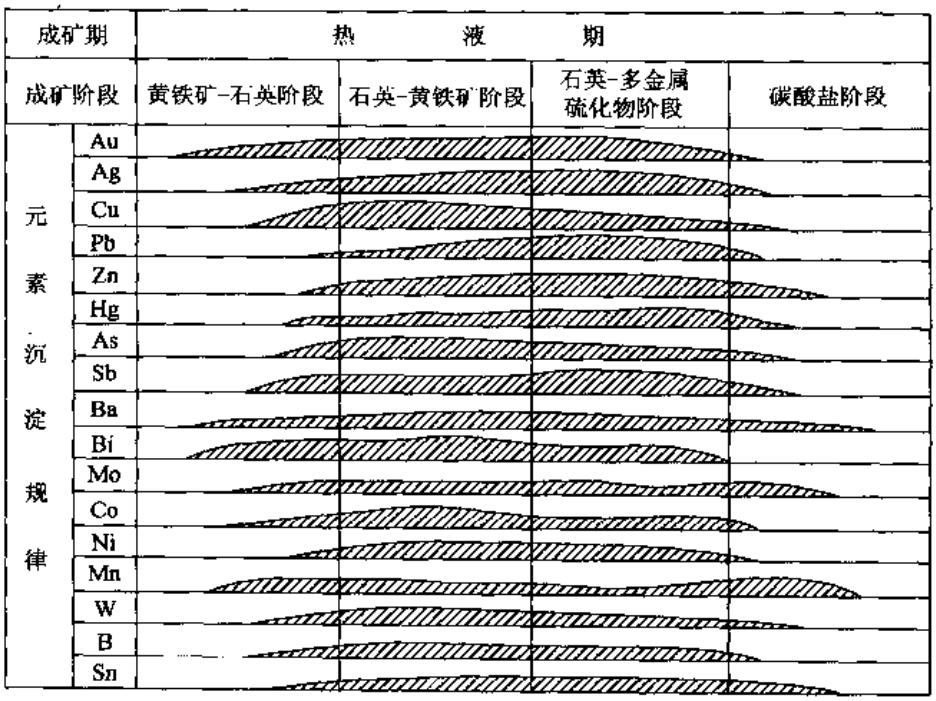


图 2-2-1 河南小秦岭杨砦峪金矿床 60 号矿脉矿体不同成矿阶段元素沉淀模式图

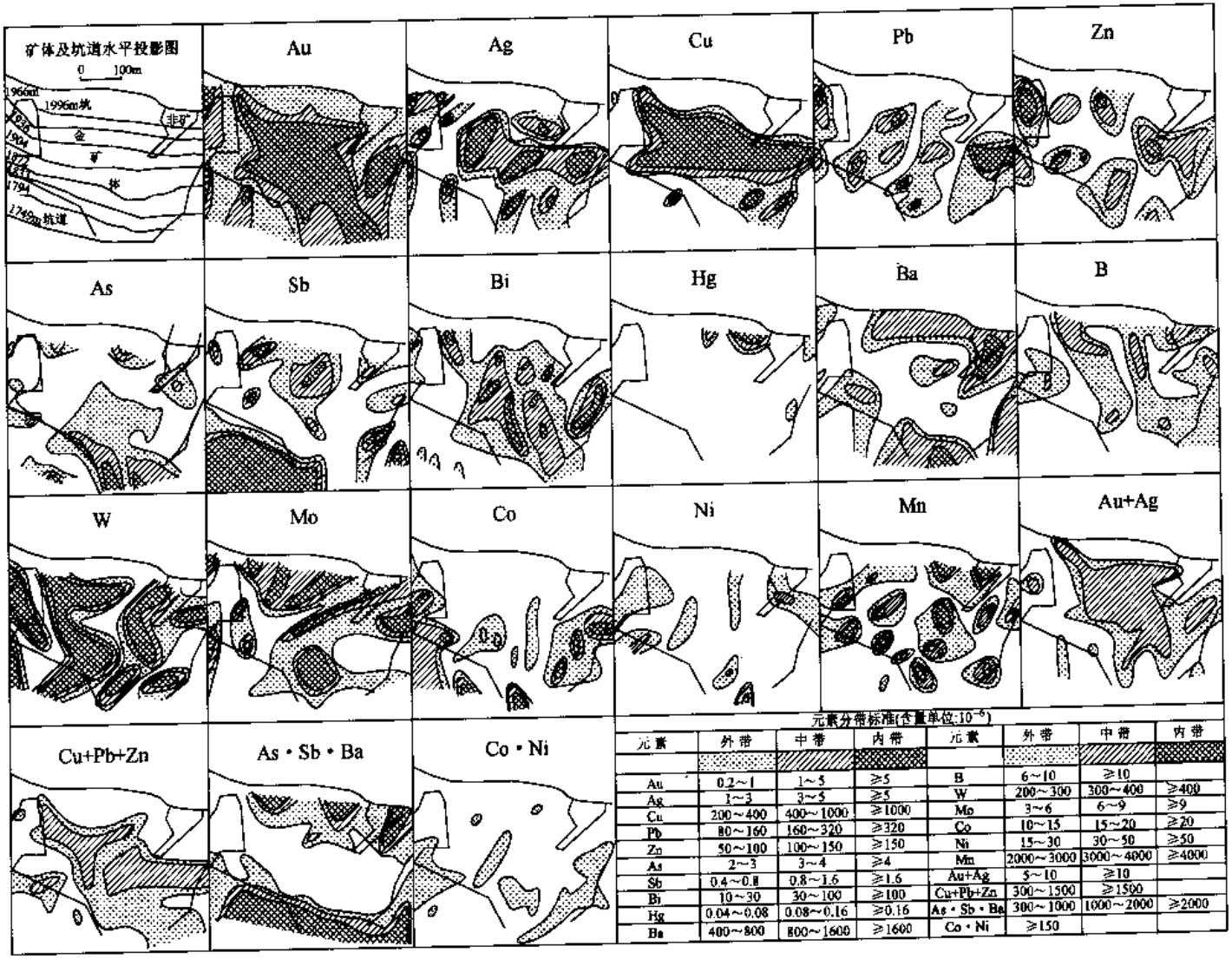
五、地球化学轴（垂）向分带特征

（1）3 号矿体元素的轴（垂）向分带序列：用 C. B. 格里戈良（格氏法）和叶·米·克维亚特科夫斯基法（克氏法）计算结果：从上→下为 B、Hg、Sb－Mo、Au、Sn、Bi、Cu、Ag－W、Pb－Mn－Ni、Cr、Co－Zn、As－V、Ti－Ba。As、Ba 在下部，出现了反常或反分带现象，反映了深部盲矿的前缘晕的叠加，指示 3 号矿体下部还有盲矿存在。结合异常分布特点，得出了该矿床单阶段的垂直分带序列从上→下是：Hg、As、Sb、B－Au、Ag、Cu、Pb、Zn－Sn、W、Ti、Mo－Bi、Co、Ni、Mn、V。

（2）3 号矿体元素的轴（垂）向变化规律（图 1-2-4）：①Au、Ag 总体是中间高，上下两头低，其中 Au 有两个浓集中心，即在 1966m 和 1904～1872m 含量最高，Cu、Ag 在矿体中部即 1904m 标高最高，向上、下两端降低；②Pb、Zn、Pb＋Zn 总体上从上→下升高；③Co、Ni 及 Co＋Ni 从矿体上部→中上部→中下部逐渐升高，而到矿根部又降低，出现反转；④As、Sb、Ba 从矿体上部→中上部→中部→下部逐渐降低，而到矿根部又升高，也出现反转。上述 Co、Ni 及 As、Sb、Ba 的反转现象及反分带现象都是深部有盲矿的指示。

六、金矿床构造地球化学异常分带特征

地球化学异常垂直分带分为各元素在矿床（体）不同标高的异常浓度分带和矿床（体）前缘矿体中部、矿体下部和尾部不同部位元素组分带。对杨砦峪 60 号脉 3 号矿体构造叠加晕水平投影图进行了研究（图 2-2-2），总结出如下特征：



元素分带标准(含量单位:10^{-6})

元素	外带	中带	内带	元素	外带	中带	内带
Au	0.2~1	1~5	≥5	B	6~10	≥10	
Ag	1~3	3~5	≥5	W	200~300	300~400	≥400
Cu	200~400	400~1000	≥1000	Mo	3~6	6~9	≥9
Pb	80~160	160~320	≥320	Co	10~15	15~20	≥20
Zn	50~100	100~150	≥150	Ni	15~30	30~50	≥50
As	2~3	3~4	≥4	Mn	2000~3000	3000~4000	≥4000
Sb	0.4~0.8	0.8~1.6	≥1.6	Au+Ag	5~10	≥10	
Bi	10~30	30~100	≥100	Cu+Pb+Zn	300~1500	≥1500	
Hg	0.04~0.08	0.08~0.16	≥0.16	As·Sb·Ba	300~1000	1000~2000	≥2000
Ba	400~800	800~1600	≥1600	Co·Ni	≥150		

图 2-2-2 河南小秦岭杨砦峪金矿床60号矿脉3号矿体构造叠加晕水平投影图

1. 在矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Ba、B、W、Mo、Mn、Co、Ni 等

（1）Au 具有明显以矿体中部为浓集中心的浓度梯度分带。Cu、Ag 具有以金矿体中部纵向（走向）拉长的浓度中心带。Au 和 Cu、Au 和 Ag 异常显示了正相关关系。

（2）Pb、Zn 异常具有多个浓集中心，但其内、中带异常总体上看还是分布于金矿体中部。Pb、Zn 异常则具明显浓集中心。Pb、Zn 异常的出现部位反映了多金属硫化物阶段形成的矿（晕）的叠加，该部位一般矿体较富，相关分析表明 Au 与 Pb、Zn 具有一定相关性。

（3）Hg 异常只出现在矿体的上部，是典型的前缘晕指示元素。

（4）已有大量金矿床原生晕研究表明，As、Sb、（Ba）是金矿床典型前缘晕元素。在 3 号矿体（晕）研究发现，As、Sb、Ba 强异常出现在矿体上部和下部（尾部），As · Sb · Ba 累乘异常的分布更明显。根据该矿床成矿特点分析认为，上部异常是已知 3 号矿体的前缘晕的一部分，而下部异常则是 3 号矿体之下的盲矿体的前缘晕引起，据此预测 3 号矿体下部还有第二个金矿富集地段。

（5）Co、Ni 异常虽较零星，但总体看 Co、Ni 异常分布于矿体下部或尾部，是尾晕特征指示，Mn 的中内带异常也趋于出现在金矿体的中下部。

2. 矿床（体）异常组分垂直分带

矿体上部及前缘：Au、Ag、Cu 外带异常，Hg、As、Sb、Ba、B 中外带异常。矿体中部 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 中内带异常，Bi、Mo 中内带异常。As、Sb、Ba 无异常或极弱异常。矿体尾晕：Au、Ag、Cu 外带异常，Ni、Cu、（Mn）中外带异常。若矿体尾部出现了 As、Sb、Ba 异常与 Co、Ni 异常共存，指示深部还有盲矿存在。

七、矿床构造叠加晕模型

小秦岭金矿床的形成具有稳定的物源、热源和有利构造多次活动的特点，金矿的富集成矿也具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点。找矿勘探圈出的金矿体特别是大矿体及富矿段和地球化学圈出的原生异常，大多是多期多阶段成矿晕叠加的结果。60 号矿脉的 1、2、3 号矿体从宏观上的矿物共生组合，细脉穿插交代关系及微观上的元素组合来看富矿段都是在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段叠加部位，特别是有第Ⅲ阶段多金属硫化物叠加部位金品位一般都很富。如 60 号矿脉 3 号矿体 1872 ~ 1966m 标高之间，在 Cu + Pb + Zn 强异常范围内就是金的富矿地段。

（一）矿床构造叠加晕模式

根据小秦岭金矿成矿成晕及异常分带特点，概括总结出了小秦岭杨砦峪金矿床构造叠加晕模式图（图 2 -2 -3），具以下特点：

（1）模式中分上（A）、下（B）两个矿体，呈串珠状，或为尖灭再现矿体。A、B 两个矿体可能是同一成矿期形成，也可能是同期两个阶段成矿叠加形成的矿体；

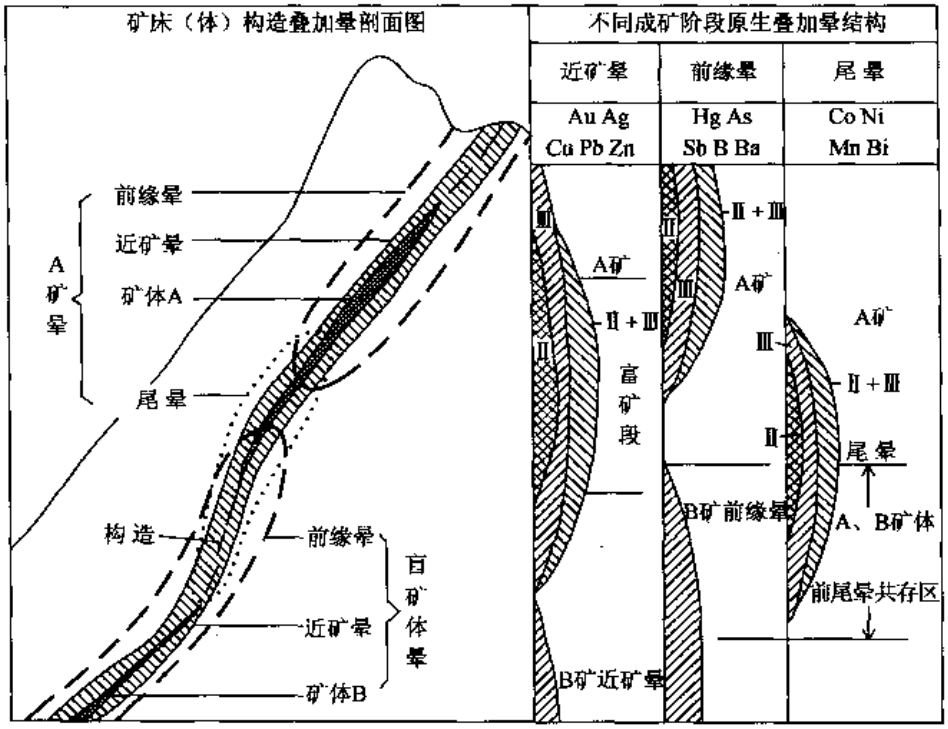


图 2－2－3　河南小秦岭杨砦峪金矿床构造叠加晕模式剖面图

A、B 两矿体为同一构造内形成呈串珠状矿体或 A、B 两矿体为Ⅱ、Ⅲ阶段分别形成的矿体

（2）A 矿体（晕）为同一期两个主成矿阶段（Ⅱ、Ⅲ阶段）形成的矿体（晕）在空间上完全叠加在一起，而且是叠加在第Ⅰ阶段形成的矿化体之上的一种特殊情况，由于第Ⅰ阶段带来元素浓度很低，而Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，所以可将 A 矿体（晕）分解为Ⅱ、Ⅲ两个主成矿阶段各自形成的矿体（晕）（1）和（2）的叠加，其叠加部分形成富矿段，反映了以 60 号矿脉 3 号矿体为代表的矿体富矿段形成的机理；

（3）下部盲矿 B，也可理解为两个主成矿阶段叠加的结果；

（4）矿体 A、B 之间无矿构造地段为上部矿体 A 的尾晕（Bi、Mn、Co、Ni）与下部盲矿 B 的前缘晕共存区。

（二）深部盲矿预测的构造叠加晕标志

1. 构造叠加晕标志

（1）当构造蚀变带或石英脉中金含量很低，一般只有 $0.n\times10^{-6}$，但大于其异常下限值（0.2×10^{-6}），并伴有 Hg、As、Sb、Ba 异常是深部矿体的指示，若同时有 Ag、Cu、Pb、Zn 异常出现，指示深部矿体有多金属硫化物成矿阶段叠加，可能有富矿体存在。

（2）地表蚀变带或含矿构造中探明矿体已采至根部，但仍有构造蚀变带或石英脉存在时，其含金只有 $0.n\times10^{-6}$，大于其异常下限值，若出现前、尾晕共存，既有 Hg、As、Sb、Ba 等前缘指示元素异常，又有 Co、Ni 等尾晕元素异常，则指示上部矿已

到尾部，深部还有第二个富集段，即有矿体存在；若伴有 Cu、Pb、Zn 等硫化物阶段叠加的指示元素异常存在，不仅增加了深部矿体存在的信息，而且指示第二富集段矿体较富。

（3）当矿体及其原生晕中出现前、尾晕共存，即在有 Au、Ag、Cu、Pb 异常的基础上，既有 Hg、As、Sb、Ba 等前缘晕指示元素异常，又有 Co、Ni、Mn 等尾晕指示元素异常，则指示该矿体向下延伸还很大。

（4）若蚀变带或石英脉中只有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 弱异常，但出现 Bi、Mn、Co、Ni 异常较强，则指示深部无矿。

2. 地球化学参数预测标志

（1）因子分析标志，根据 60 号矿脉不同标高因子分析结果得出深部有第二个富集段的因子标志是：在主成矿因子中，Au 与尾晕元素 Co、Ni 及前缘晕元素 Hg、As、Sb 共存，即主成矿因子是 Au、Co、Sb、As、Hg 组合。

（2）Au 与 Co、Hg、As、Sb 都相关是深部矿体存在的标志。

（3）当计算已知矿体（晕）的分带序列或地球化学参数垂直变化规律时，在已知矿根部出现反分带或地球化学参数发生转折，即由矿头部→中部→下部逐渐升高（或降低），尾部又转为降低（或升高），指示已知矿体深部还有第二个富集段。

八、深部盲矿体预测结果及验证效果

（1）深部盲矿体预测结果：根据总结出的构造叠加晕模型和标志，对杨砦峪 60 号脉深部（1700m 之下）和四范沟 203 号脉深部进行了预测，提出了深部盲矿靶区 8 处，其中 60 号脉深部 5 处，四范沟 203 号脉 3 处。预测金金属量 >40t。

（2）验证效果：矿山对部分预测盲矿靶位用坑道验证见矿非常好（图 2－2－4），到 2002 年已增储金金属量 >15t，预计对其他靶位验证后可获金金属量 >40t。

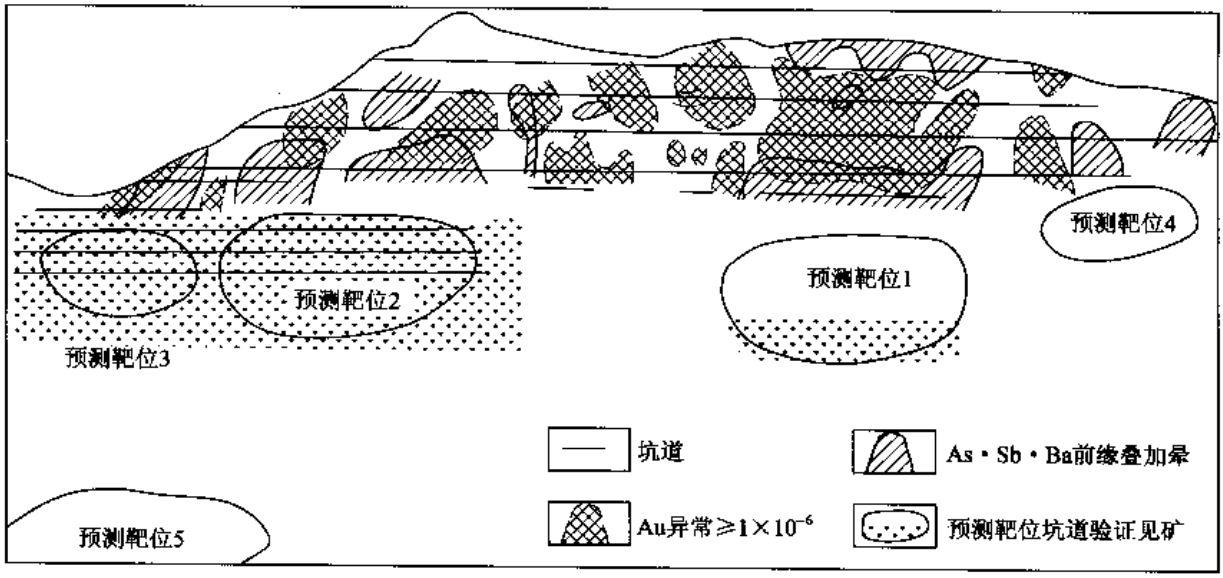


图 2－2－4　河南小秦岭杨砦峪金矿床构造叠加晕预测及验证见矿靶位示意图

模型9　陕西东桐峪金矿床的构造叠加晕模型及预测效果

建立了东桐峪大型－石英脉型金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型，并对矿脉已知矿体深部进行了预测，验证预测靶位后，已有三个靶位见矿体，取得了好的找矿效果。

一、矿床规模及类型

陕西东桐峪金矿床是大型－石英脉型金矿床。

二、矿床地质特征

东桐峪金矿床是小秦岭金矿田的大型－石英脉型金矿床。

（1）赋矿围岩：太华群的大月坪组—三关庙组，主要岩性为黑云（角闪）斜长片麻岩及混合岩等。

（2）控矿构造：近EW向的大月坪－金罗斑复背斜控制了区内主要含金构造带的分布，次级断裂、背斜的隆起或倾伏端（地段）控制了石英脉密集区及其展布。近EW向脆－韧性剪切断裂带为主要控矿构造，其次为NNE向张性断裂。

（3）各期岩浆岩与成矿关系不甚明显，但花岗伟晶岩脉发育区与含金石英脉密集区在空间分布上大体一致。

（4）矿脉特征：矿区内2.47km^{2}范围内，分布有20多条含金构造带，主矿脉为Q8、Q12，其长度＞1km。Q8号矿脉走向60°～90°，倾向SW，长度为4430m。（矿区内长1900m）；Q12号矿脉走向50°，倾向SE，长度为1546m。Q12与Q8在矿区中部成“X”相交。矿脉由石英脉、糜棱岩组成。石英脉在构造带内断续分布，长度7～280m，厚度0.05～3m。构造带中金矿体主要分布于石英脉，但并不是石英脉就是矿体，一般矿体长度≤石英脉长度。在含矿构造带内，金矿体走向和倾向上具有膨胀、收缩、尖灭再现和矿化中心有等距分布特点，矿体还有明显侧伏规律（Q8脉中矿体）。

（5）围岩蚀变：主要为硅化、绢云母化和黄铁矿化，其次为绿泥石化、碳酸盐化等。硅化、黄铁矿化、绢云母化与金矿化关系最密切。

（6）金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿特点，热液期分为五个阶段，即钨铁矿－白钨矿－脉石英阶段；Ⅰ：含金黄铁矿－脉石英阶段；Ⅱ：早期金－多金属硫化物－脉石英阶段；Ⅲ：晚期金－多金属硫化物－脉石英阶段；Ⅳ：石英－方解石阶段。其中Ⅱ、Ⅲ为主成矿阶段，Ⅰ阶段矿化弱，Ⅳ阶段不成矿。Ⅰ阶段形成矿化部位，若有Ⅱ阶段形成矿体叠加，可形成较富矿体，若再有第Ⅲ阶段形成矿体叠加，则矿体更富。

（7）矿物成分及金的载体矿物：矿区内出现矿物有几十种，最主要的金属矿物是黄铁矿，其次为方铅矿，再次为黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、黑钨矿、白钨矿等，金矿物主要

为自然金、银金矿，脉石矿物主要为石英，其次为方解石、绢云母、菱铁矿、绿泥石等。

金主要是晶间金、裂隙金和包体金三种，以晶间金为主，主要载金矿物是黄铁矿，其次是黄铜矿、方铅矿和石英。

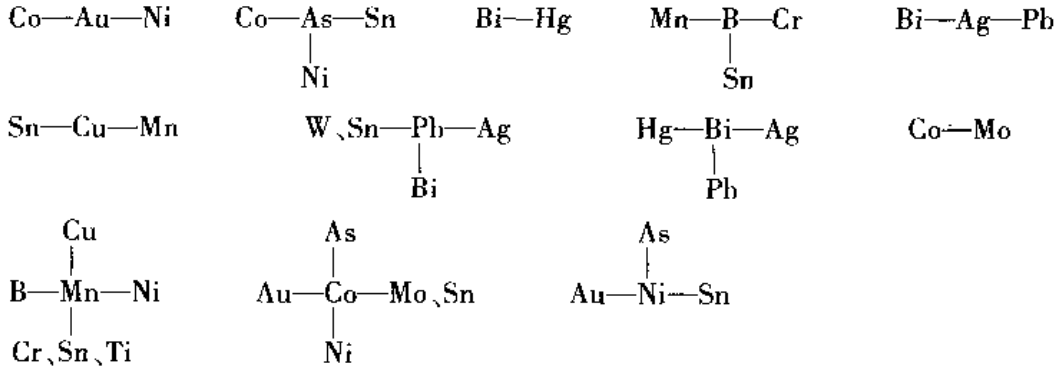
三、矿床地球化学特征

1. 矿床元素组合特征

将 Q8 矿脉和 Q12 矿脉的所有矿体样品做总体统计，得出东桐峪金矿元素组合及元素相关星。列入元素组合的元素以其衬值≥3 为标准。

矿床元素组合：Ag（174.1 衬值，下同）、Au（133.3）、Bi（81.1）、Cu（52.0）、Pb（43.9）、Co（8.6）、W（7.4）、Sn（5.9）、Mo（4.9）、As（4.4）、Ni（3.4）、Mn（3.6）、Zn（3.2）。

元素相关星：（中心元素与其相关的元素相连呈星状）



2. 不同成矿阶段元素组合特征

钨铁矿－白钨矿－脉石英阶段：Ag、W、Ti、Sn；

Ⅰ：Au、B、Ag、Cu、Pb、Mn、Bi、Mo、W、Sn、Co；

Ⅱ＋Ⅲ：Au、As、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Bi、Mo、Ni、W、Sn、Co、Sb；

Ⅳ：Au、Ag、Pb、Mn、Bi、W、Sn。

东桐峪金矿区矿脉不同成矿阶段元素组合的总特点是：钨铁矿～白钨矿－脉石英阶段元素组合最少，Au 含量低，在该阶段还有 Ti；Ⅰ阶段是形成石英脉的主体，其元素组合增多，形成金的矿化体，局部可形成矿体。Ⅱ＋Ⅲ阶段形成矿体的元素最多，Ⅰ阶段只有在Ⅱ阶段叠加部位才能形成 Au 的较富矿体，若再有Ⅲ阶段叠加则形成金的富矿体。第Ⅳ阶段元素少于Ⅰ、Ⅱ＋Ⅲ阶段，但 Au 含量高于钨铁矿－白钨矿－脉石英阶段。

四、矿床构造叠加晕特征

东桐峪金矿矿脉严格受构造控制，且成矿具有多期多阶段叠加的特点，Q8、Q12 脉中的矿体是构造多次活动、热液多次叠加成矿的结果。因此，研究东桐峪金矿每次或每个阶段热液形成矿体及其原生晕的垂直分带特点和不同阶段形成矿体（晕）的叠加结构，建立东桐峪金矿床叠加晕模型，对于寻找盲矿和判别矿体剥蚀程度具有重要意义。

根据东桐峪各矿脉都具有多期多阶段叠加成矿成晕特点，对 Q8 和 Q12 两条主矿脉叠加晕垂直纵投影图进行了研究，总结出了东桐峪金矿床构造叠加晕的总体特征。

（1）在矿脉内矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Bi、Mo、Co、Ni、W、Cr、Ti、Sn、V。

（2）矿体（晕）中各指示元素的特征是：

Au：是金矿的成矿元素，也是最重要、最直接的指示元素，在矿体前缘构造中随远离矿体，异常强度逐渐降低。研究表明，其外带异常在矿体上方可达 200m。

Ag：异常与 Au 正相关。

Cu、Pb、Zn：为石英－多金属硫化物阶段特征指示元素，其强异常紧包矿体，指示为Ⅱ阶段叠加，形成富矿体。

As、Sb、Hg、B：在构造中矿体前缘及上部异常强度最高，在矿体中、下部及尾晕中异常强度低或无异常。As 在本矿床的前缘指示最明显，在矿体前缘 200～300m 可出现外带、中带异常。

Bi、Mo、Co、Ni：异常范围也很小，其内带异常集中于矿体的中、下部，是矿体的尾晕指示元素。

W、Cr、Ti、Sn、V：在矿体周围异常分布零星。

五、矿床的构造叠加晕模型

东桐峪金矿区含金石英脉都具有多期多阶段叠加成矿成晕特点，黄铁矿－石英阶段形成了石英脉的主体，含一定量 Au，可形成金矿体，第Ⅱ阶段成矿与第Ⅰ阶段同位叠加地段形成了较富金矿体，第Ⅲ阶段富含 Au、Ag 及 Pb、Zn、Cu 等多种金属元素，与第Ⅱ阶段形成矿体（晕）同位叠加部位形成富矿体。

1. 矿床的构造成叠加晕模式

根据东桐峪金矿脉中矿体在构造有利部位各阶段叠加形成矿体（晕）的垂直分带特点，建立了东桐峪金矿床的构造叠加晕模式（图 2－2－5），其特点是：在 700m 标高之下，矿化减弱。前缘晕元素异常从矿头→矿尾沿矿体倾斜方向正常情况下是逐渐降低，而实际上在矿尾又出现了较强异常，指示了矿体侧伏方向深部还有盲矿存在。

（1）矿体特征指示元素组合为：前缘晕：As、Sb、Hg、B。近矿晕：Au、Ag、Cu、Pb、Zn，且 Pb、Zn、Cu 强异常反映第Ⅲ阶段成矿成晕的叠加部位。尾晕：Bi、Mo、Mn、Co、Ni。

（2）每个阶段形成矿体或某一阶段在多个构造成矿有利部位形成的矿体都有自己的前、尾晕。两个主成矿阶段在有利构造部位同位或部分同位叠加，则使前、尾晕强度增大了。不同矿体在构造空间呈串珠状分布时，若上、下两个矿体较近，则在其间形成了前、尾晕共存现象。

（3）东桐峪金矿四个成矿阶段中，Ⅰ阶段形成石英脉主体，含 Au 量低，局部形成金矿体，Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，构造叠加晕主要是Ⅱ、Ⅲ阶段叠加的结果。

（4）矿体呈串珠状，且有平行侧列特点，在整个矿脉产状较缓（40°～50°）处，为矿体群集中地段。矿体在垂直纵投影图上向西下方侧伏，从上至下矿体变小，呈一大的透镜体，在 1200～700m 标高范围内矿化好，品位高，在 700m 之下，矿化减弱，但又出现

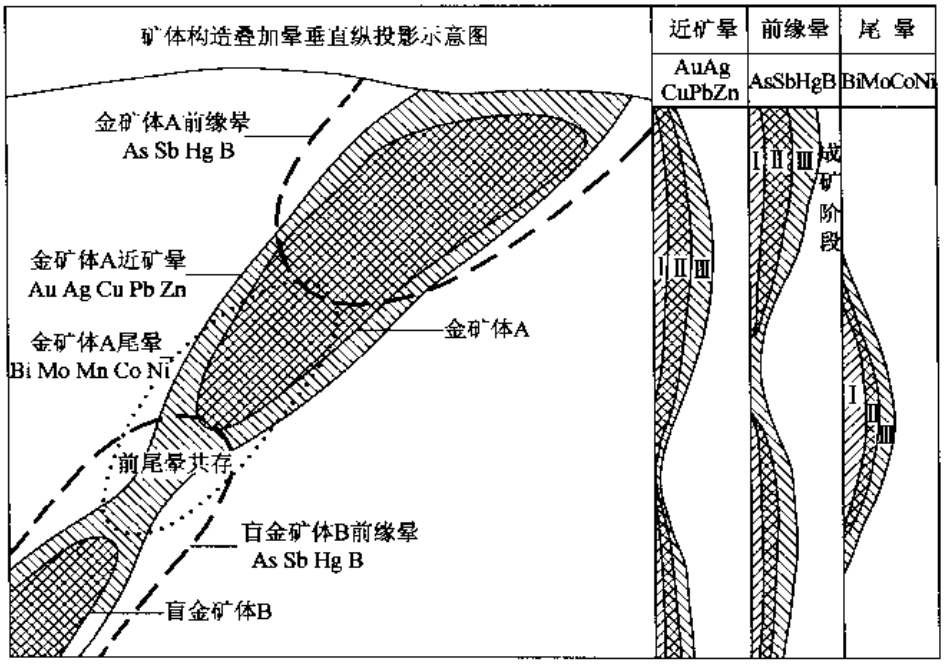


图 2－2－5　陕西东桐峪金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图

了前缘晕的强异常，指示矿体侧伏方向深部还有盲矿。

（5）在矿体垂直纵投影图上，已发现矿体的东西两侧及剖面上的上、下盘，可能存在较大的平行或侧列矿体。

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有 Au 外带连续异常的条件下，若有特征前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B 异常连续出现，尾晕元素 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 异常弱，指示深部有盲矿存在，若再有 Pb、Zn、Cu 异常出现，指示有第Ⅲ阶段叠加，盲矿可能较富。

（2）当 Au、Ag 异常只有外带异常，Cu、Pb、Zn 外带异常，前缘指示元素 As、Sb、Hg、B 有较强异常，而尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 也有较强异常，即前、尾晕共存，则指示深部还有第二个 Au 的富集体（盲矿），若在矿体下部出现前、尾晕共存，且 Cu、Pb、Zn、Ag 有较强异常存在，则指示矿体向深部还有很大延伸。

（3）前缘晕指示元素原生晕强度趋势分析预测准则：在垂直纵投影或剖面图上，若从矿体前缘→矿头→矿体中部→下部→矿体尾晕，前缘晕指示元素从强→弱→强，特别是在最深部工程控制的构造蚀变带矿化很弱时出现了强异常，反映深部矿体前缘晕叠加，指示深部还有盲矿存在。

（4）若前缘晕元素异常从已知矿体上部→下部，从强→弱→强，反映有下部矿体头部叠加，指示矿体向下延伸还很大。

六、预 测 效 果

根据模型和盲矿预测标志对主矿脉深部进行了盲矿预测，提出了 18 个盲矿靶位。现已验证见矿的靶位有五个，向南西方向侧伏深部 600m 标高以下预测靶位，经坑道验

证找到了很好矿体。图2－2－6是某矿脉预测靶位垂直纵投影，经坑道验证靶位Ⅰ、Ⅱ都见矿。

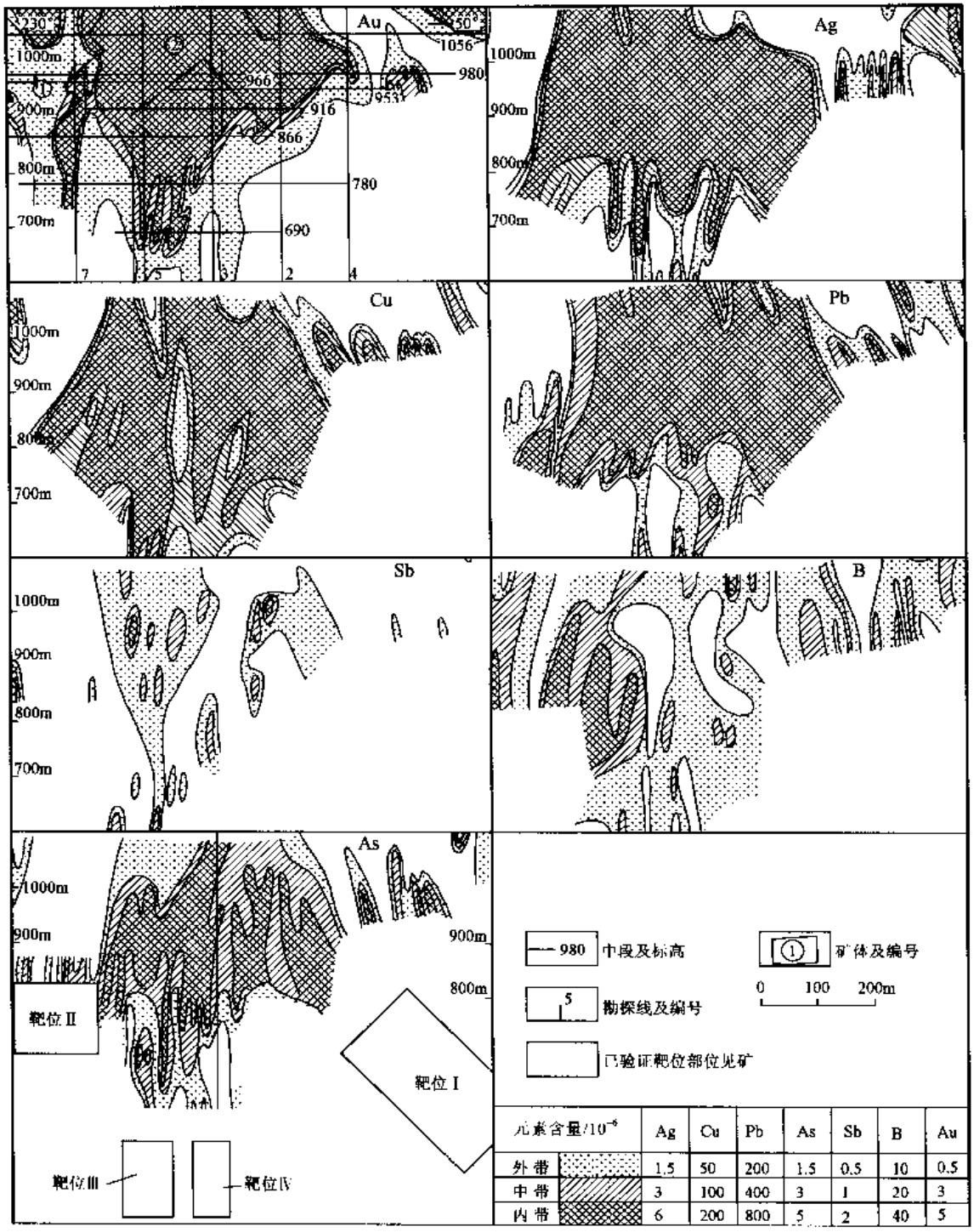


图2－2－6　陕西东桐峪金矿床某矿脉构造叠加晕及验证见矿靶位垂直纵投影图

模型 10　河南灵宝红土岭金矿床的构造叠加晕模型

一、矿床规模及类型

河南灵宝红土岭金矿床是大型－石英脉型金矿床。

二、矿区地质

矿区位于豫陕交界的小秦岭金矿田东部。

（1）地层：新太古界太华群条纹带状混合岩、斜长片麻岩、斜长（角闪）片麻岩和角闪岩。

（2）控矿构造：近东西向脆－韧性大断裂控制了矿田内含金石英脉的群、带分布。矿区内 EW 向断裂是最主要的控矿构造。

三、矿床地质特征

（1）主要含金矿脉和金矿体特征：矿脉主要受东西向构造控制，规模最大的是 V001 脉、V002 脉等，长度一般为 $n\times100\sim n\times1000$m，厚度 1～5m。含金构造带内断续分布有石英脉，石英脉在走向上具有膨缩和尖灭再现的特点，一般厚 0.2～1.5m。金矿体主要产于石英脉中，但并不是所有石英脉都能形成金矿体，石英脉中金矿体沿走向、倾向也具有膨胀和尖灭再现特点。V001 脉中单个长椭圆状矿体在侧伏方向长轴延伸 450～600m 间，短轴 260m 左右，垂向最大延伸 >300m。矿体在构造带中分布与构造的产状有很大关系，一般在构造产状由陡→缓部位矿体较厚、品位较高。

（2）围岩蚀变：围岩蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化，其中硅化、黄铁矿化、绢云母化与 Au 矿化关系最密切。

（3）矿物组合：矿石中主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿，次要金属矿物为闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿。脉石矿物主要为石英、其次为铁白云石、菱铁矿、白云石、方解石、绢云母及绿泥石。金主要以裂隙金为主，其次为晶隙金和包体金，金主要分布于黄铁矿和石英中，其次是黄铜矿和方铅矿。

（4）成矿阶段：分为四个成矿阶段：Ⅰ：黄铁矿－石英阶段；Ⅱ：石英－黄铁矿阶段；Ⅲ：石英－多金属硫化物阶段；Ⅳ：石英－碳酸盐阶段。

四、矿床地球化学特征

（1）不同成矿阶段元素组合特征：以各阶段微量元素的衬值（平均值/矿区背景值）

>4 为标准，则各成矿阶段的元素组合为：

Ⅰ：Au、Ag、Cu、Mn、Bi、W；

Ⅱ：Au、Hg、Ag、Cu、Mn、Bi、W、Co；

Ⅲ：Au、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Bi、W；

Ⅳ：Au、Ag、Cu、Mn、W、Co。

其中第Ⅰ阶段元素组合比第Ⅱ、Ⅲ阶段元素组合少 Sb、Hg、Pb、Zn，Au 含量低；第Ⅲ阶段以 Ag、Cu、Pb、Zn 含量高为特点；第Ⅳ阶段 Au 含量低，其他元素含量也低。

上述元素组合特点反应第Ⅰ阶段是形成含金石英脉的主体，只有第Ⅱ阶段的叠加部位才能形成金矿体，再有第Ⅲ阶段的叠加则形成金的富矿体，第Ⅳ阶段和第Ⅰ阶段元素组合较相近，但 Au 含量远低于第Ⅰ阶段，构造叠加晕主要是第Ⅱ、Ⅲ阶段形成的矿体（晕）的轴（垂）向分带及其叠加的结果。

（2）矿体中元素组合特征：以各元素衬值 > 3 为标准，矿体元素组合是：Au、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Mn、Bi、Mo、W、Co。

五、矿床构造叠加晕特征

金矿床构造叠加晕总体特征是：

（1）在矿脉内矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、Ag、As、Sb、Hg、B、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co、Ni、W、Sn、Ti、V。

（2）Au：有明显的以矿体为浓集中心、从矿体中心往外浓度递减的分带特点，Cu、Ag 也具有类似的特征。Ag 与 Au 呈正相关，Au 与 Cu 相关性较差。

（3）Pb、Zn、Cu：强异常带分布与 Au 异常基本一致，为近矿的指示元素，Cu、Pb、Zn 强异常带中心也反映了第Ⅲ阶段多金属硫化物的沉淀部位。

（4）As、Sb、Hg、B：其构造叠加晕强异常出现在矿体上部及前缘，各矿脉中金矿床（体）或 Au 的富集中心有多个，每个矿体上部及前缘都有自己的 As、Sb、Hg、B 强异常，主成矿阶段（Ⅱ、Ⅲ）在空间同位或不完全叠加形成的矿体，其 As、Sb、Hg、B 前缘晕也互相叠加，致使在水平投影图上 As、Sb、Hg、B 异常分布也较复杂。

（5）Bi、Mo、Mn、Co：在空间上多是分布在矿体中下部、尾部，是尾晕指示元素。

（6）W：在金矿含量较高，其强度也出现在矿体上部及前缘的特点，是前缘晕指示元素。

六、矿床构造叠加晕模型

1. 矿床的构造叠加晕模式

根据该金矿床各阶段形成矿体（晕）的叠加特点，建立了金矿床的构造叠加晕模式（图 2-2-7），其特点是：

模式中矿体①、②、③叠瓦式或侧列式排列，向深部侧伏。金矿体①、②、③可能是同一成矿阶段形成，也可能是不同成矿阶段在三个有利成矿部位形成矿体（晕）的同位叠加，也可能是矿体①、②、③分别是三个阶段形成的三个矿体（晕）。

三个矿体每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，而且其前缘晕、近矿晕和尾晕

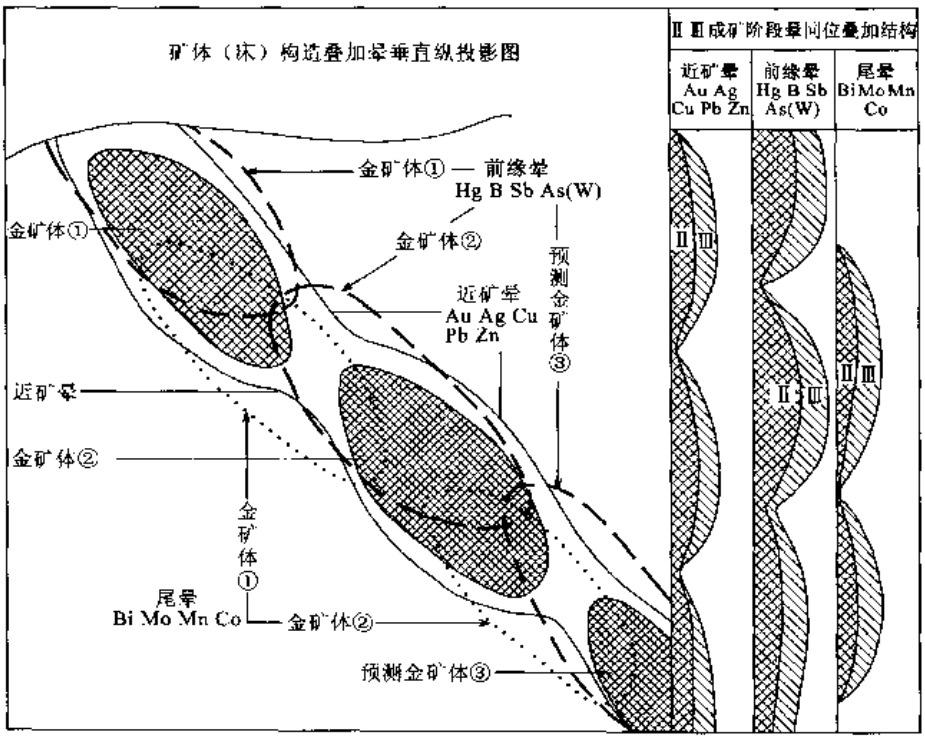


图 2－2－7　河南灵宝红十岭金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图

有共同的指示元素，即：前缘晕的指示元素是 Hg、B、Sb、As（W）；近矿指示元素是 Au、Ag、Cu、Pb、Zn，Cu、Pb、Zn 指示第Ⅲ阶段成矿的叠加；尾晕的特征指示元素是 Bi、Mo、Mn、Co。

不论是上述哪种情况下形成的三个矿体①、②、③，其上部矿体的尾晕总是与下部矿体的前缘晕叠加共存。

2. 深部盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有 Au 弱异常的条件下，有前缘晕指示元素 Hg、B、Sb、As、（W）强异常出现，而尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co 异常很弱或不出现，指示深部有盲矿体存在，相反 Bi、Mo、Mn、Co 异常强，而 Hg、B、Sb、As、（W）异常弱，指示深部无矿。

（2）在构造带中，已知矿体尾部有尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co 强异常，又有前缘特征指示元素 Hg、B、Sb、As、（W）的强异常出现，即出现前、尾晕共存，指示深部还有盲矿存在。

（3）在矿脉构造叠加晕垂直纵投影图或水平投影图上，观察前缘晕指示元素 Hg、B、Sb、As、（W）异常强度趋势，若出现从已知矿前缘→矿头→矿尾前缘晕指示元素 Hg、B、Sb、As、（W）由强→弱→尾部又增强的趋势，则指示深部还有盲矿存在。

（4）若上述三条盲矿预测标志中前缘晕指示元素 Hg、B、Sb、As、（W）都出现异常，则预测有盲矿的准确性较高，若有些前缘晕指示元素没有异常，则预测有盲矿的准确性就要相对降低。

七、盲矿预测

根据金矿床（体）的构造叠加晕模型和盲矿预测的构造叠加晕标志，对矿区内四条矿脉的构造叠加晕进行了评价和预测，提出了13个盲矿预测靶位。

模型11　小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的构造叠加晕综合模型[18]

小秦岭是我国仅次于胶东的第二大黄金生产基地，已有金矿山100多座。目前，很多金矿山特别是一些大型矿山，资源严重不足，急需在矿山深部及外围寻找盲矿。很多金矿专家曾预测小秦岭金矿下还有一个小秦岭金矿，但并不是每个矿山或每条矿脉深部都有盲矿或第二个富集带。要具体对矿脉深部盲矿定位预测，仍是进一步研究的课题，只有采用新理论，开拓新方法、新技术，才能提高预测的准确性。实践表明，构造叠加晕法是在矿区深部及其外围盲矿预测的一种直接、有效的新方法、新技术。

一、矿床规模及类型

小秦岭金矿床是特大型－大型－石英脉型金矿床。

二、小秦岭金矿地质特征概述

（1）成矿地质背景：小秦岭金矿床的赋矿围岩是新太古界太华群深变质岩系（绿变带）。区内东西向老鸦岔—娘娘山复式背斜及其南北两侧近东西向断裂控制了区内含石英脉的分布，EW向断裂最长可达16km，NE—SW、NW—SE向断裂和SN向断裂也与金矿化有一定关系。区内与成矿有关的岩浆岩主要是燕山晚期的华山花岗岩、文峪花岗岩和娘娘山花岗岩。

区内已发现含金石英脉1200多条，金矿床（点）160多个，其中大型、特大型金矿床十多个，主要为石英脉型金矿。文峪金矿、秦岭金矿、东闯金矿和东桐峪金矿是区内典型的大型、特大型石英脉型金矿床。

（2）矿区矿脉特征：小秦岭金矿田被分为多个金矿区，每个矿区都有1～2条主干矿脉，如：文峪金矿的主矿脉是505脉，其次有530、512脉；秦岭金矿的主矿脉是60号脉；东闯金矿主矿脉是507脉，东桐峪金矿的主矿脉是8号和12号脉。各矿区内的主矿脉长度均大于2000m，厚度1～3m。在矿脉内，石英脉—含金矿体石英脉—构造岩相间出现。金矿体主要赋存于构造带内的石英脉体的一些有利成矿部位。

（3）多期多阶段叠加成矿（晕）特点：区内金矿成矿（晕）都具有多期多阶段叠加的特点，一般热液期分为四个成矿阶段，第Ⅰ阶段为黄铁矿—石英阶段，形成了乳白色石英脉，含少量粗粒、自形黄铁矿，在石英脉中呈团块状分布，含Au很低，形不成工业矿

体；第Ⅱ阶段为石英－黄铁矿阶段，是主成矿阶段；第Ⅲ阶段为石英多金属硫化物阶段，其特点是该阶段除有大量黄铁矿外，还有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿形成，是主成矿阶段；第Ⅳ阶段为碳酸盐阶段，分布于矿脉的局部，不成矿。在有第Ⅰ阶段形成石英脉的基础上，若有第Ⅱ阶段成矿叠加则形成金矿体，若再有第Ⅲ段成矿同位叠加，则形成富矿体。

（4）围岩蚀变：与成矿有关的围岩蚀变主要是黄铁矿化、硅化和绢云母化。

（5）矿石矿物组成：金属矿物主要是黄铁矿，其次是黄铜矿、方铅矿和闪锌矿等；金的矿物以自然金、银金矿为主；非金属矿物主要是石英，其次有绢云母、方解石、绿泥石等。

三、矿床地球化学特征

1. 矿床元素组合特征

秦岭金矿床：Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Mo、Mn；

文峪金矿床：Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb、Bi、Mn、Co；

东桐峪金矿床：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Bi、Mo、Mn、Co；

三个矿床的共性是元素组合中都有 Au、Ag、Cu、Pb、As、Bi、Mn。

2. 不同成矿阶段元素组合特征

秦岭金矿、文峪金矿和东桐峪金矿都具有相同的四个成矿阶段，Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段。三个矿床不同成矿阶段形成矿体（晕）的元素组合共性是：

Ⅰ：Au、Ag、Mn；

Ⅱ：Au、As、(Hg)、Ag、Cu、Bi、Mo；

Ⅲ：Au、As、(Sb)、Ag、Cu、Pb、Zn；

Ⅳ：Au、Ba、Mo、Mn。

矿床不同阶段形成矿体（晕）的成矿及伴生元素组合特点是，不成矿的Ⅰ、Ⅳ阶段元素数少，而Ⅱ、Ⅲ主成矿阶段元素多，第Ⅱ主成矿阶段的元素是 Au、As、(Hg)、Ag、Cu、Mo，Bi，Ⅲ阶段又比Ⅱ阶段多，以含 Cu、Pb、Zn 高为特征。

四、秦岭金矿床的60号脉主矿体地球化学轴（垂）向分带特征

（1）元素的轴（垂）向分带序列：正常情况是前缘晕指示元素在上，尾晕元素在下部。实际对60号脉主矿体（晕）计算结果从上至下是 B、Hg、Sb→Au、Cu、Ag、Pb、Bi、Mo→Mn、Ni、Zn、As、Ba、V，前缘指示元素 B、Hg、Sb 在上部，而前缘晕指示元素 As、Ba 却在下部，出现了“反常”或“反向分带”，反映了该矿体尾部有深部盲矿体前缘晕的叠加。

（2）地球化学参数轴（垂）向变化特点，Au、Ag 是以矿体为中心，随远离矿体而浓度降低，在正常情况下，前缘晕指示元素浓度从矿体前缘→矿头→矿中部→矿尾应是降低，实际对60号脉矿体（晕）计算结果，As＋Sb＋Hg（前缘指示元素和）浓度从上→下，由高→低→尾部又升高，出现了转折，这种现象也反映了矿体尾部有深部盲矿体的前缘晕叠加。

据上述“反分带”和“地球化学参数转折”预测的盲矿靶位，经验证已找到了盲矿。

五、矿床构造叠加晕特征

对比秦岭金矿床的60号矿脉、文峪金矿床的505脉、512脉及东桐峪金矿床的9号、12号脉构造叠加晕的特征得出：

（1）每条矿脉中每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕。在矿体及其周围能形成异常的元素有Au、Ag、As、Sb、Ba、B、Hg、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co、Ni等，其中Au、Ag、Cu、Pb、Zn异常是以矿体为中心，随远离矿体而浓度降低；As、Sb、Hg、B、Ba等元素的强异常总是分布在矿体的上部和前缘：其中秦岭金矿为As、Sb、Hg、B、Ba；文峪金矿为As、Sb、Hg、B；东桐峪金矿为As、Sb、B、Hg；三个矿床基本相似；Bi、Mo、Mn、Co、Ni的强异常总是出现在矿体的尾部。

（2）由于各矿床不同阶段形成矿体（晕）在空间上叠加形式或叠加结构不同，致使各矿床的构造叠加晕在剖面和垂直纵投影图上，前缘晕和尾晕指示元素的强异常分布比较复杂。

六、深部第二富集带预测的构造叠加晕模型

1. 矿床的构造叠加晕理想模式

根据秦岭、文峪和东桐峪三个典型大型－特大型石英脉型金矿床的构造叠加晕特征及模型的共性，建立了小秦岭石英脉型金矿床的构造叠加晕理想模式（图2－2－8），其特点是：

（1）模式中理想剖面反映了小秦岭石英脉型金矿床的上、下两个富矿地段：上部富矿段分布于上部构造产状由陡变缓的缓倾地段，垂深在400～500m间；中间弱矿化地段是构造面产状总体较陡地段，垂深300～400m间，其间构造局部相对较缓的部位也可能形成小矿体；深部富矿段分布于下部构造产状变缓地段。

（2）矿床的最佳指示元素组合是：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、B、Hg、Ba、Bi、Mo、Mn、Co、Ni。

（3）模式中每个阶段形成的矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕。矿体的前缘晕特征指示元素是As、Sb、Hg、B、Ba；近矿指示元素是Au、Ag、Cu、Pb、Zn；尾晕元素是Bi、Mo、Mn、Co、Ni。

（4）石英脉型金矿床的形成是在第一阶段形成的弱矿化石英脉的基础上有Ⅱ、Ⅲ阶段叠加才形成达到工业品位的金矿体或富矿体。模型中展示了两个主成矿阶段形成矿体（晕）在空间上的叠加。上、下两个赋矿段的矿体可以是一个主成矿阶段在上、下两个有利成矿构造部位形成串珠状矿体，或是两个主成矿阶段都在这两个有利成矿部位形成串珠状矿体的同位叠加，或是一个主成矿阶段形成上部矿体，第二个主成矿阶段形成下部矿体，或者相反。不论上述那种情况，在串珠状矿体之间的弱矿化带都是上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕叠加共存，是深部盲矿定位预测的重要依据。

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有Au弱异常的条件下，前缘晕指示元素As、Sb、B、Hg、Ba有强异常现象出现，尾晕指示元素Bi、Mo、Mn、Co、Ni异常弱，指示深部有盲矿存在。若再有Cu、

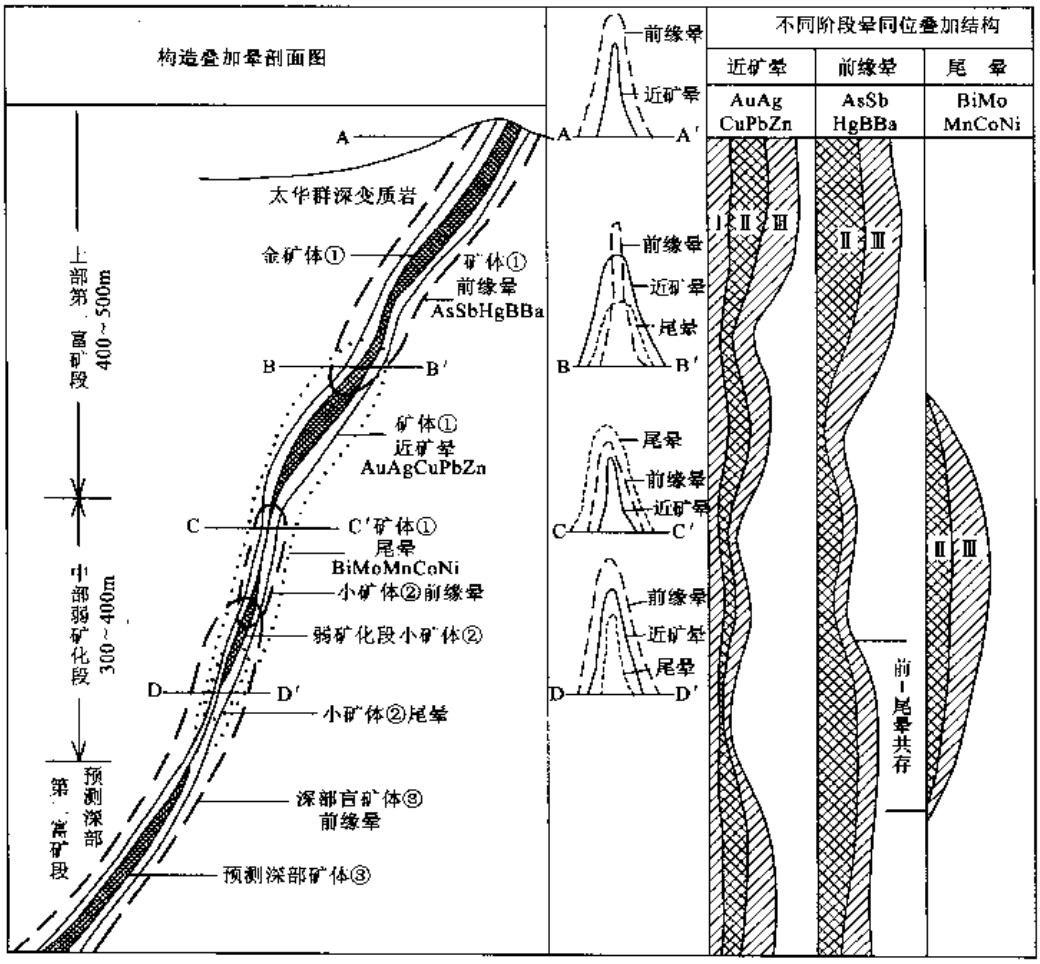


图 2－2－8　小秦岭石英脉型金矿床深部第二富集带盲矿预测的构造叠加晕模式剖面图

Pb、Zn 异常，则反映了盲矿有多金属硫化物阶段叠加，盲矿为富矿体。相反，前缘晕很弱、尾晕强，则指示深部无矿。

（2）前缘晕、尾晕共存是构造叠加晕法在矿床深部寻找盲矿或预测深部矿化富集段的重要标志。在已知矿床（体）尾部，有尾晕元素的强异常，若再有前缘晕指示元素的强异常出现，则反映了有深部盲矿的前缘晕叠加，前缘晕与尾晕共存是深部盲矿存在的重要指示。若在上部已知矿体的中、下部出现前、尾晕共存，则是下部有矿体叠加，指示矿体向下延伸还很大。

（3）上部已知矿体（晕）的轴（垂）向地球化学“反分带”是指示深部盲矿存在的标志，已知矿体（晕）正常的轴（垂）向分带序列是前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B、Ba 等出现在分带序列的上部，若出现在下部，则为“反分带”，指示深部还有盲矿。

（4）地球化学参数转折是指示深部有盲矿存在的标志。上部已知矿体（晕）的地球化学参数如前缘晕指示元素累加（As + Sb + Hg）、前缘晕元素浓度/尾晕元素浓度（As/Mo、Sb/Bi）等，在正常情况下从上到下其值应逐渐降低，若在下部又转为升高，则指示深部有盲矿体存在。

七、盲矿预测效果

应用盲矿预测的构造叠加晕标志，在秦岭金矿、文峪金矿和东桐峪金矿深部进行了盲矿预测，都取得了好的找矿效果，如在秦岭金矿深部的预测靶位中，仅验证了三个靶位，金的增储已超过了15t。图2-2-9是河南文峪金矿区主矿脉构造叠加晕及深部第二富集带盲矿预测靶位验证图。

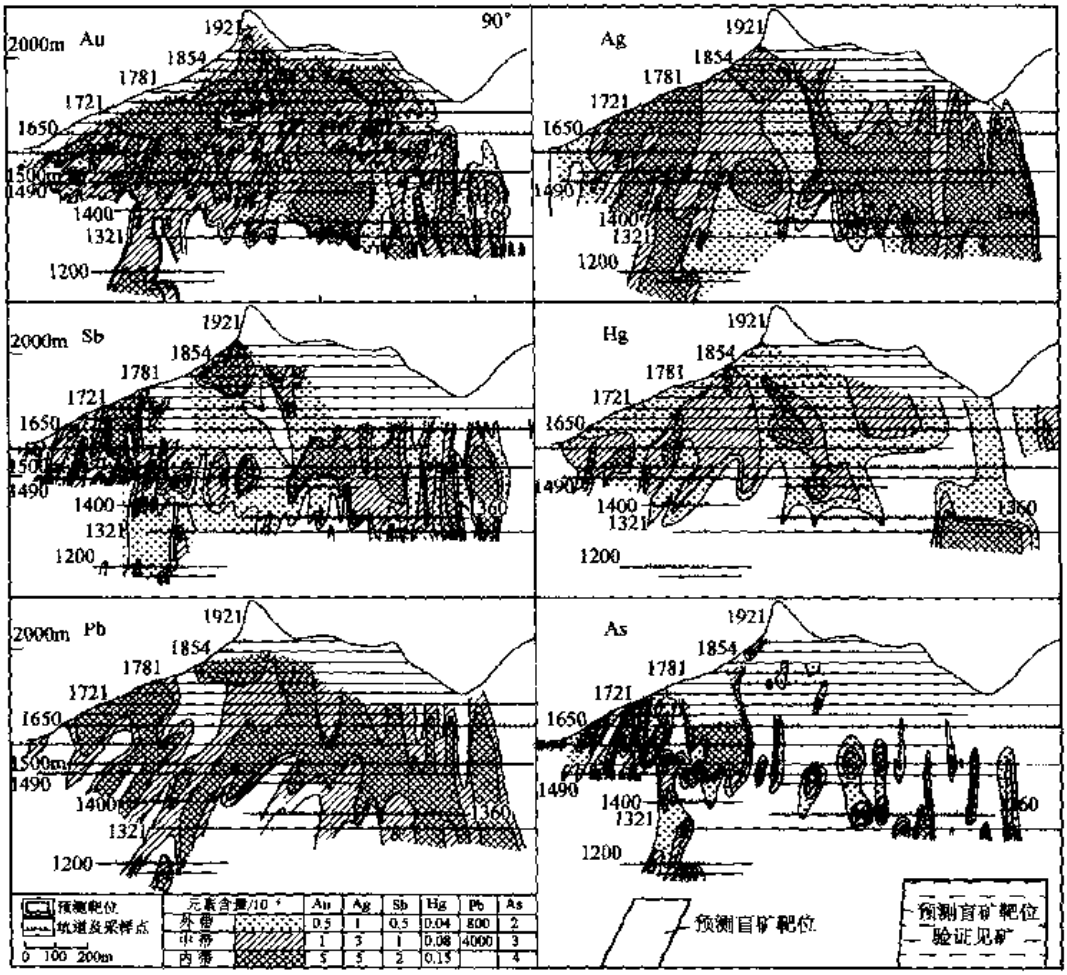


图2-2-9 河南文峪金矿区主矿脉构造叠加晕及预测靶位垂直纵投影图

结论

构造叠加晕模型法为在小秦岭石英脉型金矿区深部寻找盲矿或第二富集带提供了一种有效的新方法和新技术，该种方法将会在小秦岭石英脉型金矿床深部寻找盲矿、指导矿山在深部及其外围探矿增储、缓解矿山资源危机发挥重要作用。

第三章　秦岭典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

模型12　陕西太白金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

建立了太白金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型[19]，预测了四个盲矿靶位。矿山验证，已获金金属量近10t，取得了显著的找矿效果。

一、矿床规模及类型

陕西太白金矿床是大型－低品位－钠长角砾岩型金矿床。

二、矿床地质特征

太白金矿开采的KT8矿体是太白金矿床（带）规模最大的主矿体。根据已有研究成果[20]，总结出太白金矿床地质特征如下。

1. 成矿环境

（1）构造：区内发育有一系列轴向为NW—SE向的复背、向斜构造及走向断裂构造。含金角砾岩体（带）受NW—SE向构造控制。

（2）赋矿地层：泥盆系上统星红铺组下亚组（D_3x_1）的第2段（$D_3x_1^2$）为赋矿地层，其岩性为浅绿灰色变质粉砂岩、粉砂质绢云板岩。

（3）岩浆岩：西坝中酸性复式岩体距太白金矿带1.3km，与成矿无关。

2. 矿床特征

（1）含金角砾岩体特征：金矿赋存在角砾岩体中，有的角砾岩体本身就是矿，但并不是所有角砾岩体都成矿。含金角砾岩带长11.5km，地表出露有大小不等的8个角砾岩体，角砾岩体长为50～3050m，一般长1000m，宽4～500m，多数为100m左右，已控制垂直深度达400m。角砾呈板条状、多角状和不规则状，大小$n\times10$cm至$n\times1$cm。成分为钠长石化板岩或粉砂质绢云板岩。在角砾岩体上部和边部相邻角砾间或角砾块与围岩往往有可拼性，角砾位移很小。胶结物为多阶段热液活动充填物，以钠长石、含铁白云石为主，其次有方解石、石英和黄铁矿等。

据胶结物成分可将角砾岩类型划分为5类：Ⅰ以钠长石为主，含不定量石英、含铁白云石胶结角砾岩；Ⅱ黄铁矿、钠长石（石英）含铁白云石胶结角砾岩；Ⅲ黄铁矿、方解石胶结角砾岩；Ⅳ黄铁矿胶结角砾岩；Ⅴ石膏、硬石膏胶结角砾岩。以Ⅰ、Ⅱ类分布最

广，其他类型仅在局部出现或叠加于Ⅰ、Ⅱ类角砾岩之上。

（2）矿体特征：在8个出露的角砾岩体中已发现14个大小不等的金矿体，其中以Ⅵ号角砾岩体的KT8矿体规模最大，其长度680m，平均厚度38.39m，已控制矿体延深达380m，已达大型金矿，Au平均品位3.08×10^{-6}，其余矿体目前控制规模均小于KT8矿体。

（3）矿石矿物：已发现矿物达50多种，矿石主要脉石矿物是钠长石、含铁白云石、黄铁矿、石英和方解石5种。Au的矿物主要为自然金、碲金矿，微量矿物主要有磁铁矿、毒砂、辉钴矿、方铅矿、闪锌矿、针镍矿、碲铋矿、矾云母、钒铬云母及电气石、石膏、硬石膏、萤石等。金除了自然Au之外，黄铁矿是主要载金矿物，其次是含铁白云石，在载金矿物中Au主要呈裂隙金、晶间金和包体金存在。

（4）矿石结构构造：矿石结构有自形－半自形粒状结构、包含结构、嵌晶结构、填隙结构和交代结构；矿石构造有角砾状、浸染状、交错脉状、网脉状和团块状构造。

（5）成矿阶段：分为6个成矿阶段：黄铁矿－含铁白云石－石英－钠长石阶段（Ⅰ）；石英－钠长石－黄铁矿－含铁白云石阶段（Ⅱ）；黄铁矿－方解石阶段（Ⅲ）；黄铁矿阶段，该阶段又分为石英—黄铁矿亚阶段（Ⅳ-1）和黄铁矿亚阶段（Ⅳ-2），Ⅳ-2阶段含金高于Ⅳ-1阶段；萤石－迪开石－方解石阶段（Ⅴ）；石膏－硬石膏阶段（Ⅵ）。其中Ⅱ、Ⅳ阶段为主成矿阶段，主矿体（KT8）主要发育阶段为Ⅰ－Ⅳ。多阶段叠加部位，特别是Ⅱ、Ⅳ阶段叠加部位形成富矿。

3. 矿床成因类型

太白金矿属钠长角砾岩型金矿床，其成因为高—中温黄铁矿钠长石碳酸盐型碱性碳酸岩岩浆热液金矿床[20]。

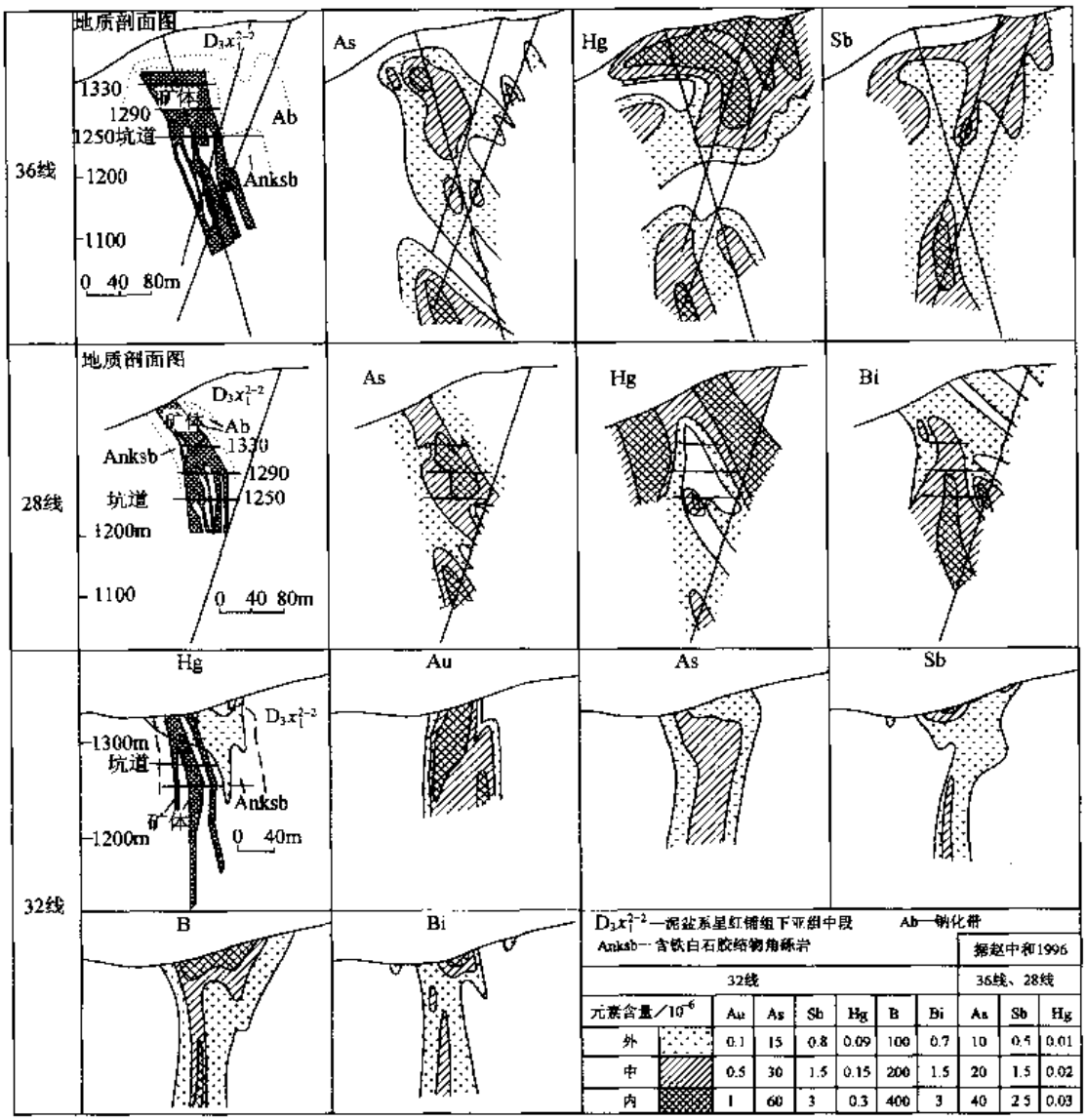
4. 胶结物或矿（化）体叠加特点

主矿体（KT8）4个成矿阶段分别形成的胶结物或矿（化）体（晕）在空间上的分布及其叠加特点是：第Ⅰ阶段为弱矿化阶段，但在角砾岩体中普遍发育，在空间分布上从角砾岩体上部→下部增强；第Ⅱ阶段为主矿化阶段，分布广泛，在空间分布上，在角砾岩体顶部强，向深部减弱；第Ⅲ阶段弱矿化，仅分布于局部地段；第Ⅳ－2阶段为主成矿阶段，金品位较高，往往叠加于第Ⅰ和第Ⅱ阶段形成的矿化角砾岩之上，形成品位局部较高矿体，主要分布于矿体上部，向深部减弱；第Ⅴ、Ⅵ阶段不成矿，据上述Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ阶段形成矿体（晕）在空间分布特点，总结出了不同阶段形成的胶结物或矿体在空间上垂向的叠加结构规律是：在含金角砾岩内从上→下，Ⅰ阶段逐渐增强，Ⅱ、Ⅳ阶段逐渐减弱，即Ⅱ、Ⅳ阶段热液胶结角砾岩在角砾岩体上部发育，而Ⅰ阶段在下部发育，在中下部Ⅰ、Ⅱ阶段形成的胶结物含量相近。Ⅱ、Ⅳ阶段叠加部位形成的矿体较富。

三、矿床构造叠加晕特征

太白金矿受角砾岩控制，角砾岩又受构造控制，金矿成矿具有多期多阶段叠加的特点，勘探圈出的矿体是构造多次活动、热液多次叠加成矿的结果。

通过对太白金矿床主矿体地表、不同中段构造叠加晕剖面图（图2－3－1）及矿体



据赵中和1996

元素含量/10^{-6}	32线 Au	As	Sb	Hg	B	Bi	36线、28线 As	Sb	Hg
外	0.1	15	0.8	0.09	100	0.7	10	0.5	0.01
中	0.5	30	1.5	0.15	200	1.5	20	1.5	0.02
内	1	60	3	0.3	400	3	40	2.5	0.03

图 2－3－1　陕西太白金矿床构造叠加晕剖面图

（晕）垂直纵投影图（图 2－3－2）的研究，得出了太白金矿原生叠加晕总体特征。

（1）在矿床（体）及其周围能形成异常的元素有 Au、As、Sb、B、Hg，岩石热释 Hg 及 Mn、Bi；而 Ba 在赋矿部位呈低值负异常。找矿的最佳指示元素组合是 Au、As、Sb、B、Hg，岩石热释 Hg、Mn、Bi 及 Ba。

（2）太白金矿的 4 个成矿阶段中Ⅰ阶段成矿元素分布广泛，Ⅱ、Ⅳ是主成矿阶段，其元素组合是：Ⅰ—Au、As、Sb、Mn、Ni；Ⅱ—Au、Ag、As、Sb、Bi、Mo、Mn、Ni；Ⅲ—Au、As、Sb、Hg、Mn、Ni；Ⅳ—Au、Ag、As、Sb、（Hg、B）、Bi、Mo、Mn、Ni。Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ阶段都含有较高的 Au、As、Sb、Mn。矿体——晕主要是这三个阶段在空间上的叠加结果。

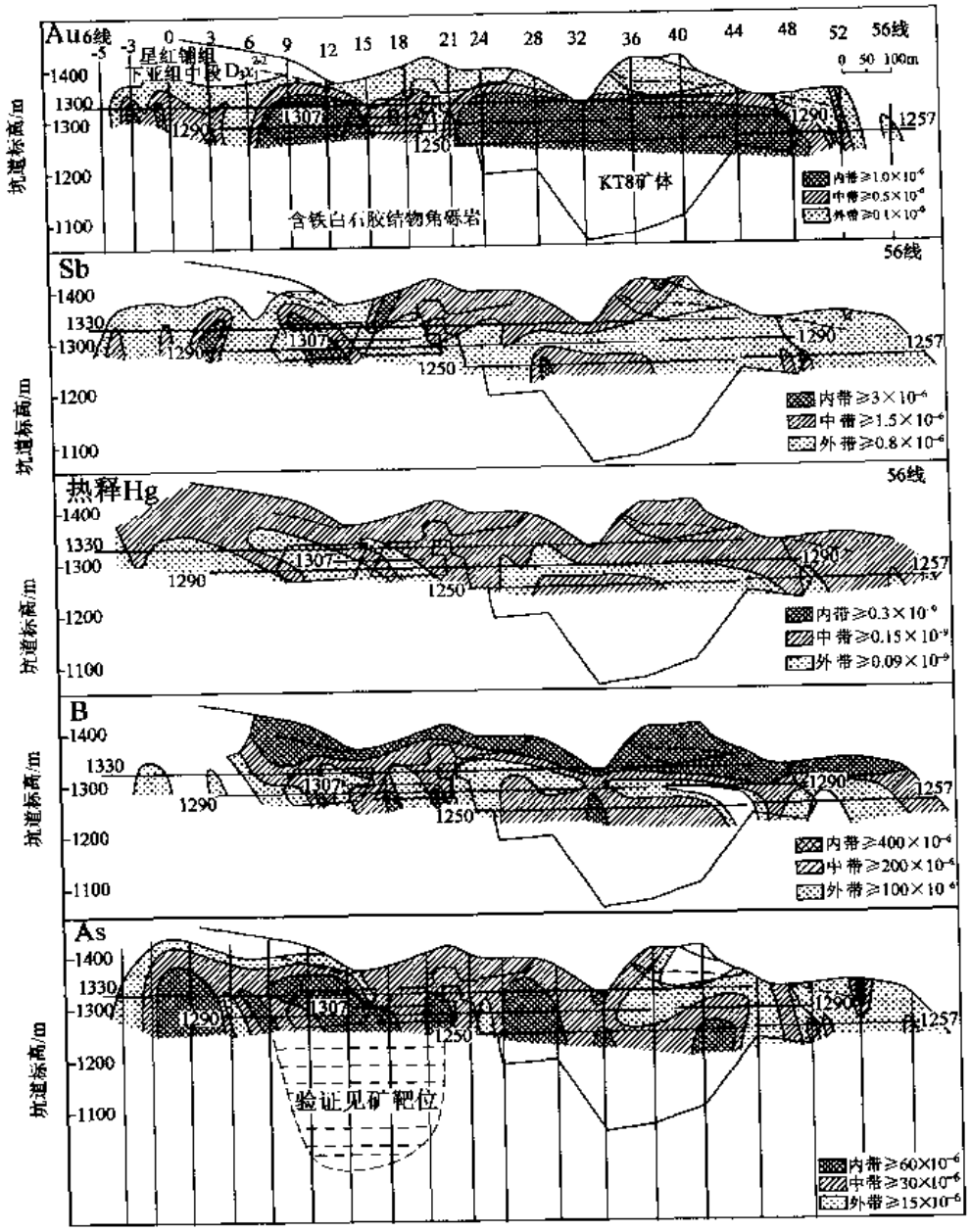


图2－3－2　陕西太白金矿床构造叠加晕预测及验证见矿靶位垂直纵投影示意图

四、矿床构造叠加晕模型

1. 矿床构造叠加晕模型（图2－3－3）

（1）每个阶段形成的金矿化体都有自己的前缘晕（B、As、Sb、Hg）、近矿晕（Au、Ba）和尾晕（Mn、Bi）。勘探后圈定的矿体和化探圈定的异常都是各阶段成矿体——晕叠加的结果，图2－3－3中展示了Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ阶段形成矿体——晕在空间上的叠加结构。

（2）单阶段形成矿体（晕）的指示元素的轴（垂）向理想分带序列从上→下是：Hg、B、Sb、As→Ag、Au→Bi、Mn→Ni。

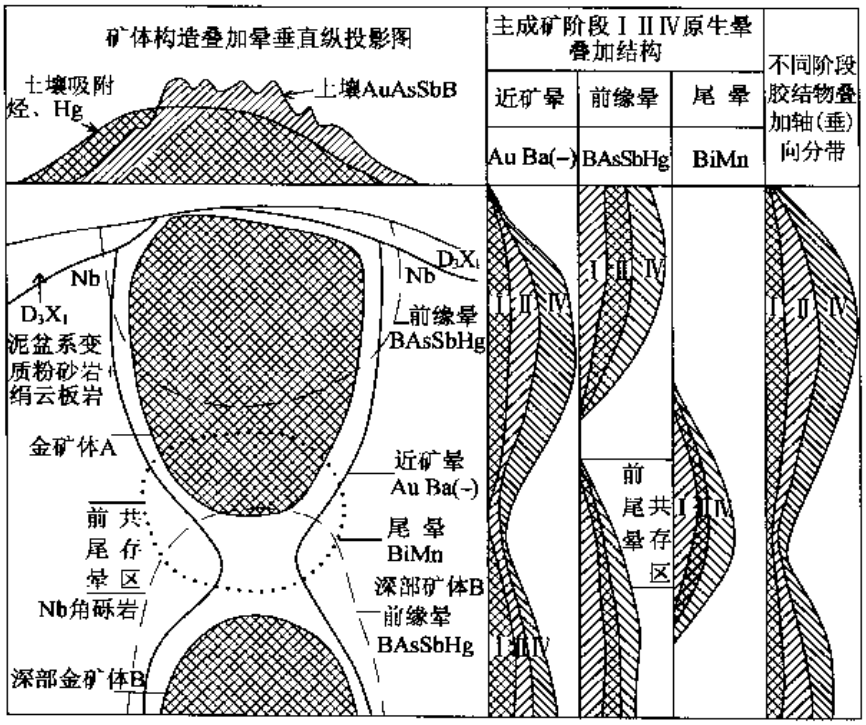


图 2－3－3　陕西太白金矿床构造叠加晕模式垂直纵投影图

（3）图 2－3－3 中展示了土壤地球化学异常特点及其最佳指示元素组合（Au、As、Sb、Hg、B）。也展示了土壤热释 Hg 异常对隐伏盲矿的指示作用。

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有 Au 外带异常的基础上，若有 B、Hg、As、Sb 特征前缘晕指示元素异常出现，则指示深部有盲矿存在。当 Au 异常强度较低，B、Hg、As、Sb 异常强度也只有外带异常，指示盲矿较深；若 Au 异常强度较大，As、Sb、B、Hg 异常强度也较大时，指示盲矿较浅。

（2）在 Au 弱异常的基础上，若 Mn、Bi 异常较强，而 B、Hg、As、Sb 只有零星异常或无异常，则指示深部无矿。

（3）在 Au 弱异常（外带）条件下，若既有前缘晕特征指示元素 B、Hg、As、Sb 较强异常，又有尾晕指示元素 Mn、Bi 较强异常同时出现（共存），则指示深部还有第 2 个富集带，若在矿体中出现前、尾晕共存，则指示矿体向下延伸还很大。

（4）当计算矿体（晕）垂直分带序列时出现“反分带”即 Hg、B、As、Sb 出现在分带序列的下部，则指示深部有盲矿存在。

（5）当计算矿体（晕）的地球化学参数的垂直变化规律时，从上→下逐渐降低（或升高），最后发生转折，即由升→降，或由降变为升，则指示深部有盲矿，若在矿体中则指示矿体向下延伸还很大。

五、叠加成矿成晕的演化特征

太白金矿床的成矿（晕）模型概括为构造角砾岩带脉动式多阶段扩容，并伴有多阶段矿液充填胶结的演化和叠加，即太白金矿是在多次构造脉动活动中，角砾岩带经多次扩

容，角砾在多次破碎过程中伴有多阶段来自深部同源含矿液（其成分有继承性变化）的充填、胶结、交代、叠加而形成的，金矿床具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点。

太白金矿主矿体（KT8）的4个主成矿阶段叠加成矿成晕特点是：

（1）第Ⅰ成矿阶段为黄铁矿－含铁白云石－石英－钠长石阶段，形成温度300～430℃，成矿溶液中富含Na、Ca、CO_2及少量Au、S、As、Sb等微量元素，该阶段成矿溶液沿构造破碎带上升充填、交代、胶结构造角砾，形成了钠长石胶结角砾岩、石英钠长石胶结角砾岩、钠长石含铁白云石胶结角砾岩和黄铁矿钠长石含铁白云石交代角砾岩。交代围岩形成一系列钠长石化蚀变岩，该阶段产物分布于整个角砾岩体内，并形成弱金矿化（$Au<0.5g/t$）。

（2）第Ⅱ阶段为石英－钠长石－黄铁矿－含铁白云石阶段，形成温度350℃左右，是在第Ⅰ阶段之后，构造再次活动，第Ⅰ阶段形成的角砾岩受到再次破碎，经富含Ca、Mg、Fe、CO_2及Au、S、As、Sb、Mn、Bi等成矿溶液上升充填、胶结、叠加，形成了网脉状、囊团状含铁白云石胶结角砾岩，主要叠加于第Ⅰ阶段胶结形成含金角砾岩的上部，向深部减少；而第Ⅰ阶段胶结角砾岩向下相对增加。该阶段含铁白云石含量占热液矿物的80%，主要形成含铁白云石胶结角砾岩、黄铁矿含铁白云石胶结角砾岩和石英含铁白云石胶结角砾岩。该阶段含Au高（$Au>1\times10^{-6}$）是主成矿阶段，与第Ⅰ阶段叠加部位形成叠加矿体（晕）。

（3）第Ⅲ阶段是黄铁矿－方解石阶段，构造再次活动，富含Ca、CO_2及含有一定量Au、As、Sb、Hg、Mn、Ni、V的热液沿新形成的构造裂隙充填形成含粗晶方解石，以规模不大（10cm）的囊团状、不规则穿插或叠加于早阶段胶结角砾岩局部构造中，含少量黄铁矿，$Au<0.5\times10^{-6}$，形成局部叠加矿化（晕）。

（4）第Ⅳ阶段为黄铁矿阶段，分为二个亚阶段，其特点是富含Fe、S及Au、As、Sb、Hg、Mn、Bi、B等，热液在构造再次脉动活动时上升充填，形成了富含黄铁矿的细脉、网脉或团块，该阶段富Au，为主成矿阶段。在空间上叠加于角砾岩体上部的局部地段，与Ⅰ、Ⅱ阶段同位叠加的局部地段形成富矿体。

（5）每个成矿阶段热液在上升、充填、胶结过程中，其物化条件不断变化，温度都是逐渐降低的过程，由于成矿溶液中成矿及其伴生元素的本身地球化学性质不同、迁移形式和沉淀条件的差异，随各阶段物化条件的演化，各种元素沉淀有先后、在空间上有分带、在宏观上形成了不同阶段胶结物或充填矿脉的矿物组合垂直分带、在微观上则形成了单阶段的地球化学分带，则Hg、As、Sb、B等元素总是在矿体上部及前缘晕富集，而Bi、Mn、Ni、V总是富集于矿体下部及尾晕，不同阶段的产物在空间上叠加形成了叠加矿体及叠加晕，并使单阶段矿体（晕）的垂直分带复杂化。

六、预测结果及验证效果

（1）预测结果：应用构造叠加晕模型标志对主矿体深部、走向两端及其外围一些矿点进行了预测，提出了4个预测靶位（图2－3－2）。

（2）验证见矿效果：矿山对部分靶位用钻孔和坑道验证结果，已获金金属量10t。取得了显著的找矿效果。

第四章　晋北典型金、金－钼、银－铜矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

模型13　山西阳高堡子湾金矿床的构造叠加晕模型及预测效果

1992年堡子湾金矿在勘探过程中，初步研究了矿床叠加晕特征，并进行了盲矿预测，钻孔验证取得了好的效果。2002年研究和建立了矿床的构造叠加晕模型，对矿区深部进行了预测，提出盲矿靶位，目前已有四个靶位验证见矿。

一、矿床规模及类型

山西阳高堡子湾金矿床是中型－隐爆角砾岩型金矿床。

二、矿床地质特征

堡子湾金矿床赋存于隐爆角砾岩体中，是一个与次火山隐爆作用有关的中、低温热液型中型金矿床。

矿区位于华北地台北缘内蒙古地轴天镇断拱的阳高凸起。阳高山前破碎带的二级近EW向构造控制了与成矿有关的岩浆岩和赋矿角砾岩体的分布，角砾岩体内与其大体平行的NEE向次级断裂控制了金矿体的分布。区内地层主要是太古界集宁群麻粒岩相深变质岩。岩浆岩有石英二长斑岩、二长花岗岩和石英斑岩，其中石英二长斑岩与成矿关系最密切。

角砾岩体特征：东西长1600m，宽60～200m，倾向南，倾角60°～90°。角砾岩按成因分为震碎角砾岩和熔浆角砾岩，按角砾成分划分为复成分和同成分两种。在角砾岩体中，从上部、边部→中心及深部，角砾由大→小、胶结物由少→多、由震碎角砾岩、角砾以麻粒岩为主→以熔浆角砾岩为主。在角砾岩体形成后，含矿热液沿隐爆角砾岩体中NEE向张扭性断裂上升、充填、交代成矿。熔浆角砾岩有利于金的富集成矿。

金矿体特征：金矿体形态复杂，呈脉状、囊状、瘤状，在走向上、倾向上都具有分枝复合、尖灭再现、膨胀、收缩和成群成带分布的特点。矿体一般为$n\times10$m至450m，在倾向方向向下延伸$n\times10$m至400m，厚度为0.nm至nm。

金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点。围岩蚀变中以硅化、黄铁矿化和绢云母化与金矿化关系最密切。金属矿物主要是黄铁矿，其次有少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿。氧化带以褐铁矿为主。脉石矿物以石英和绢云母为主。金矿物主要有银金矿和自然金。

三、矿床地球化学特征

1. 矿床的元素组合特征

计算了堡子湾金矿体（Au≥3g/t）样品中各元素的几何平均值和衬值（矿体元素的平均值/背景值）。

以 Au、As、Ag、Pb、Bi、Mo、W、Sn 的衬值≥20 和 Sb、Hg、B、Sn、Mn、Ni、Cr、Ti、V、Co 的衬值≥4 为标准，确定了矿床的元素组合是：Au、As、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、W。

2. 不同成矿阶段元素组合特征

堡子湾金矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点，热液期分为氧化物阶段和硫化物Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段，其中硫化物Ⅰ阶段形成了金的弱矿化，Ⅱ阶段为金的主成矿阶段，Ⅲ阶段也含有较高金，Ⅱ、Ⅲ阶段同位叠加部位形成金的富矿体。研究不同成矿阶段元素组合，对于确定指示元素、不同阶段形成矿体（晕）的叠加特点和盲矿的预测标志具有重要意义。主要研究了热液期硫化物三个阶段元素组合特征，如硫化物Ⅰ阶段 Au 含量较低；Ⅱ阶段为主成矿阶段，以 Au 含量高为特点，有大量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿析出，以含 Cu、Pb、Zn 高为特点；Ⅲ阶段含金量低于Ⅱ阶段而高于Ⅰ阶段，Ⅲ阶段方铅矿、闪锌矿的含量也低于Ⅱ阶段，因此Ⅲ阶段 Cu、Pb、Zn 也低于Ⅱ阶段，由于碳酸岩类矿物大量析出，以含 Mn 高为特点。

以不同阶段形成矿体中 Au、As、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、W、Sn 的衬值≥20，Sb、Hg、B、Zn、Ni、Cr、Ti、V、Co 的衬值≥5，Mn 的衬值≥2.5 为标准，得出了Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段的元素组合：

Ⅰ：Au、Ag、W；

Ⅱ：Au、As、Sb、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、W；

Ⅲ：Au、As、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mn、W。

三个阶段特征元素组合中相同元素是 Au、Ag、W，Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，其元素组合中元素数目远大于不成矿的Ⅰ阶段，其特征元素组合中相同元素是 Au、As、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、W，Ⅱ、Ⅲ阶段相比，Sb 为Ⅱ阶段所特有，Mn 为Ⅲ阶段所特有。

四、矿床构造叠加晕特征

堡子湾金矿床中矿体严格受角砾岩体中 NEE 向构造控制，在热液期硫化物阶段的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段中，Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段，Ⅱ、Ⅲ阶段叠加部位往往形成富矿体。因此，研究堡子湾金矿床叠加晕主要是研究Ⅱ、Ⅲ阶段形成矿体（晕）的元素轴向分带及其在空间上的叠加特点。据堡子湾金矿床两个主成矿阶段叠加特点，对堡子湾金矿床的 13 条剖面的构造叠加晕进行了综合研究，总结出了堡子湾金矿床构造叠加晕的总体特征：

（1）在矿体及其周围能形成异常的元素有 Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co、W。

（2）构造叠加晕具有明显的轴（垂）向组分分带，每个阶段形成的矿体（晕）都有类似的轴（垂）向分带即：以金矿体为中心向两侧、从矿头→前缘和从矿尾→尾晕，Au异常都是由强（内带异常）→弱（外带异常）；Ag、Cu、pb、Zn异常与Au异常有类似分布特点，是近矿指示元素；As、Sb、Hg、B等元素的强异常分布于矿体头部和前缘，从矿体前缘向矿体中、下部及尾晕异常变弱，为矿体特征前缘晕指示元素；Bi、Mo、Mn、Co等元素的强异常分布于矿体尾部和尾晕。单阶段形成的金矿体原生晕的轴（垂）向分带是从上至下是As、Sb、Hg、B→Au、Ag、Cu、Pb、Zn→Bi、Mo、Mn、Co。

（3）不同阶段形成的原生晕在空间上有多种叠加形式，形成了复杂的叠加晕。

五、矿床的构造叠加晕模型

1. 矿床的构造叠加晕模式

根据堡子湾金矿床晕单阶段形成的原生晕轴（垂）向分带及两个主成矿阶段形成矿体原生晕在空间上的叠加结构，建立了堡子湾金矿床的构造叠加晕模式（图2－4－1）。

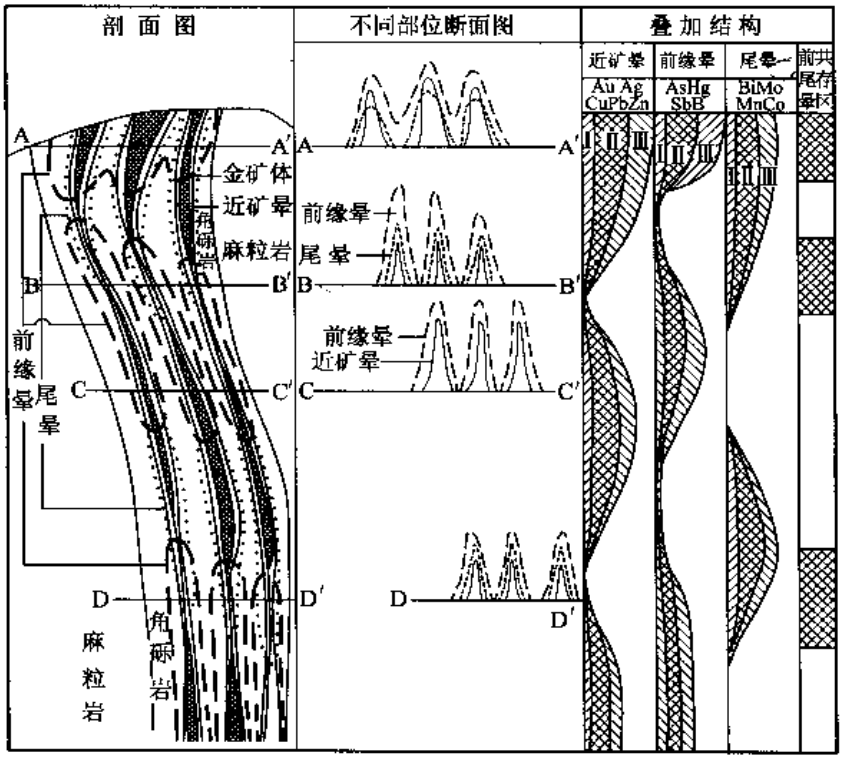


图2－4－1　山西阳高堡子湾金矿床构造叠加晕模式剖面图

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有Au外带异常的条件下，若有特征前缘晕指示元素As、Sb、Hg、B强异常连续出现，尾晕元素Bi、Mo、Mn、Co异常弱，指示深部有盲矿存在，若再有Pb、Zn、Cu强异常出现，则指示盲矿可能较富。相反，尾晕元素异常强度高，前缘晕指示元素异常弱或无异常，则指示深部无矿。

（2）当 Au、Ag 异常只有外带异常，Cu、Pb、Zn 也为外带异常，而前缘指示元素 As、Sb、Hg、B 有较强异常，尾晕指示元素 Bi、Mo、Mn、Co 也有强异常，出现了前、尾晕共存，指示深部还有第二个 Au 的富矿体（盲矿）。

（3）在矿体中除 Au 高外，Ag、Cu、Pb、Zn 等元素异常很强，前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B 等异常也很强，尾晕元素 Bi、Mo、Mn、Co 等也出现强异常，既在矿体中出现前、尾晕共存，指示矿体向下延伸还很大。

（4）在构造叠加晕的剖面图或垂直纵投影图上，对深部盲矿预测的关键是：在有 Au 异常的条件下，看特征前缘指示元素 As、Sb、Hg、B 异常强度从上部以知矿体前缘→头部 →中部 → 下部 →尾晕的变化趋势，若是由强→弱，最后又变强（前、尾共存），或前缘晕指示元素从上→下异常强度都很强，到矿体尾部同样是前、尾晕共存，是指示深部还有盲矿存在的重要标志，若在矿体中、下部出现前、尾晕共存，则指示矿体向下延伸很大。

六、盲矿预测结果及效果

（1）盲矿预测结果：根据堡子湾金矿床的构造叠加晕模型和盲矿预测标志，对矿区内 19－2 勘探线共 11 条线按其剖面对其深部进行了预测，提出了 44 个靶位，并对异常分类排序。

（2）初步成果：目前，矿山已对 7 线、9 线、11 线、15 线的预测靶位，用坑道和钻孔验证都见矿，取得了很好的找矿效果，其中 15 线预测靶位 15－1 与钻孔见矿部位相符（图 2－4－2），11 线的 1230m 中段已在预测靶位的头部见到了金矿体，在 9 线的 1230m 中段见到两条矿体，其厚度分别是 3m 和 6m，金品位为 4.9g/t。

模型 14　山西阳高九对沟金－钼矿床多建造晕模型及预测效果

大同九对沟原为角砾岩金矿点，位于堡子湾金矿西 12km，2003 年采用构造叠加晕方法对该矿点深部进行预测，不仅提出了金的预测靶位，而且根据 Mo 异常，首次发现了钼矿体。2004 年研究和建立了九对沟金－钼矿床的多建造晕模型，并进行了预测，部分靶位经验证已见矿，其中钼矿潜力很大。

一、矿床规模及类型

山西阳高九对沟金－钼矿床是角砾岩金（小型）－钼矿床。

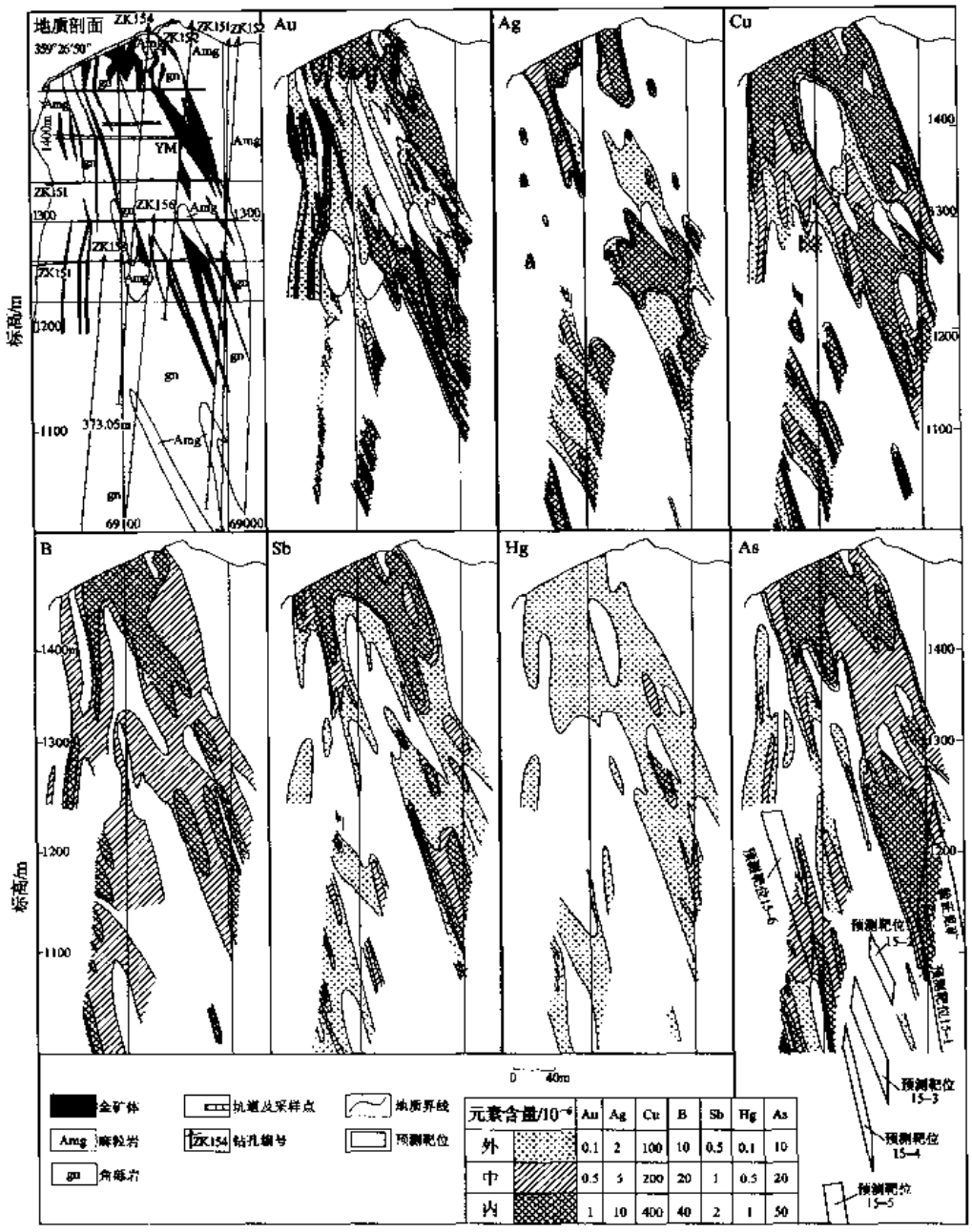


图 2－4－2　山西阳高堡子湾金矿床 15 线构造叠加晕及验证见矿靶位剖面图

二、矿床地质特征

九对沟金－钼矿床赋存于隐爆角砾岩体中，次火山隐爆后，有一次规模较大的钼矿化，之后又有中、低温热液金矿化叠加，属于多建造金－钼矿床。

九对沟矿区内出露的地层主要为太古宇集宁群右所堡组上段，岩性主要为紫苏斜长麻粒岩。区内岩浆活动强烈，出露有：饮牛沟煌斑岩、七对沟二云母花岗岩、石英二长斑岩、石英斑岩、长石石英斑岩、隐爆角砾岩、辉绿岩等。其中隐爆角砾岩、石英二长斑岩与九对沟金－钼矿最为密切。

隐爆角砾岩体特征：矿区内有三处角砾岩体出露。Ⅰ号角砾岩体主要出露于九对沟村东，地表出露近圆形，东西长440m，南北宽420m，角砾岩体倾向东，倾角50°，围岩为太古宇集宁群片麻岩和麻粒岩；Ⅱ号角砾岩体（马牙石山）主要出露于马牙石山，长210m，宽100m，地表近椭圆形，产状不清，为石英斑岩角砾岩，角砾以石英斑岩为主，岩石呈灰白色，胶结物为高岭土化、钾长石和绢云母化斜长石。Ⅲ号角砾岩体（饮牛沟）主要出露于饮牛沟中部，为火山角砾岩，只有十几平方米左右的圆形露头。

矿区NW向断裂发育，绝大部分被中酸性脉岩充填。角砾岩体内金矿脉受NNE向构造控制。

区内钼矿化普遍，但矿化强度较弱。钼矿体主要产于角砾岩中，但麻粒岩中也有辉钼矿细脉，受NNE向构造控制，厚度在1.3～28.9m，一般厚度6～9m，一般品位0.033%～0.095%。

角砾岩型金矿体产于火山角砾岩和熔岩角砾岩接触部位，矿体形态复杂，主要呈脉状，在走向上、倾向上都具有分枝复合、尖灭再现、膨胀、收缩和成群成带分布的特点。矿体一般为$n\times10$m至160m，厚度为0.nm至nm；金矿体与钼矿体走向和倾向基本一致，金矿体可分布于厚大钼矿体之中或穿过钼矿体或单独存在。

金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的特点。围岩蚀变中以硅化、黄铁矿化和绢云母化与金矿化关系最密切。金属矿物主要是黄铁矿，其次有少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿。氧化带以褐铁矿为主。脉石矿物以石英和绢云母为主。金矿物主要有银金矿和自然金。

三、矿床地球化学特征

九对沟金－钼矿具有多建造叠加成矿成晕的特点，钼矿化与金矿化属于两个不同时期的多建造成矿成晕。钼矿化在角砾岩形成以后、金矿化之前的成矿作用中形成的，金矿化是在钼矿化后，构造再次活动，含金热液充填的结果。

以Au、As、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、W、Sn、Sb、Hg、B、Zn、Mn、Ni、Ti、V、Co的衬值≥5为标准，不同类型矿床的元素组合分别是：

角砾岩型金矿：Au、As、B、Ag、Cu、Bi、Mo、W；

角砾岩型钼矿：Au、Mo、W。

四、金－钼矿床多建造叠加晕特征

1. 角砾岩型金矿体原生晕特征

九对沟角砾岩体内在1612m标高→地表（1700m左右），已发现了五条金矿化脉。

（1）在金矿化体及其周围能形成异常的元素有：Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、B、Bi、Mn、Co等。

（2）Au异常是以金矿化体为中心而形成的内、中、外带异常，随远离金矿化体，异常强度减弱。

（3）随着金矿化脉尖灭，Au异常逐渐减弱，Ag、Cu、Pb、Zn异常强度也减弱，Bi、Mn、Co异常增强，是尾晕的特征，而As、Sb、Hg异常的再次增强则是深部盲矿前缘晕叠加的结果。

2. 角砾岩型钼矿体原生晕特征

九对沟角砾岩体内从地表（1700m 左右）→1612m 标高，及深部钻孔控制共发现十条钼矿化脉。在地表Ⅰ号角砾岩体出现的地方均有 Mo 异常出现，范围大，几乎整个角砾岩体都有钼的中、外带异常。在金矿化脉上，Mo 异常为强带，而在无金矿化的地段，Mo 仍有大片内带异常出现。从地表→深部，Mo 含量有增高的趋势，异常主要表现为内带和强带异常，且向深部未见有减弱的趋势，指示了深部找钼矿有很好的前景。在 Mo 矿体周围 Mo 异常最好，W 异常与 Mo 矿有一定正相关关系，其他元素与钼矿关系不大。在近角砾岩体的麻粒岩中也有 Mo 强异常出现。

五、金－钼矿床的构造多建造叠加晕模型

1. 金－钼矿床的多建造叠加晕模式

九对沟角砾岩型金－钼矿床严格受角砾岩体及构造的控制，蚀变岩型金矿受构造控制。金－钼矿化属于多建造晕，而金矿化又具有多阶段叠加晕特点。根据金－钼矿化具有多建造和金矿具有多阶段叠加成矿成晕的分带特点，建立了九对沟金－钼矿床的多建造叠加晕模式（图 2－4－3）。

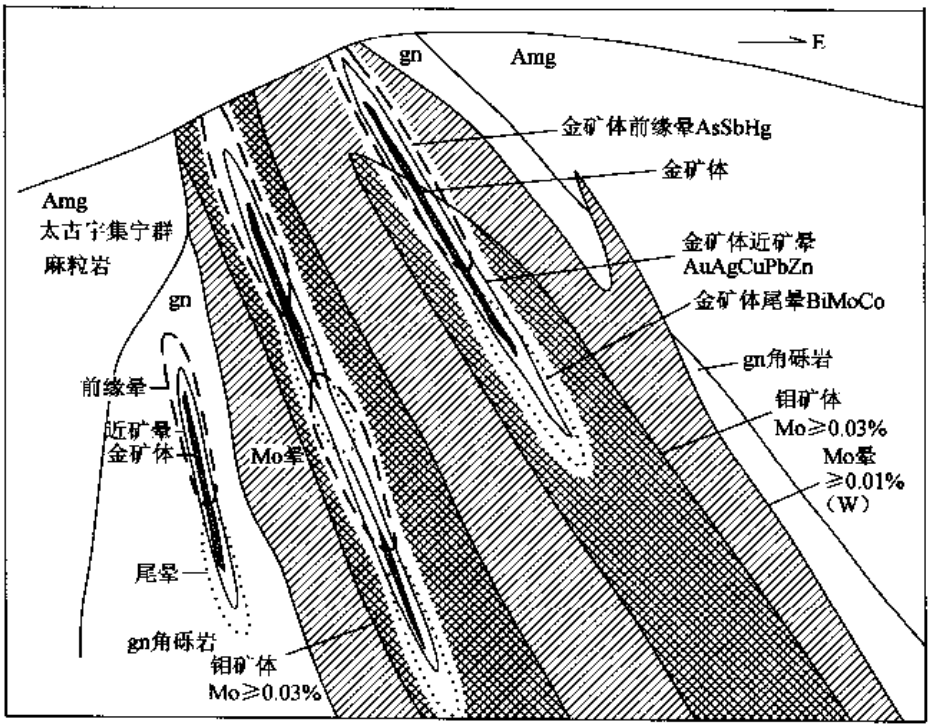


图 2－4－3　山西阳高九对沟金－钼矿床构造多建造晕模式剖面图

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）角砾岩型金矿床：①在有 Au 中、外带异常的条件下，前缘晕指示元素 As、Sb、Hg 出现中、外带异常，且较连续，尾晕元素 Bi、Co、Mn 异常较弱，指示深部有盲矿存在。若再有 Ag、Cu、Pb、Zn 中、外带异常，则指示盲矿较富；②在已知矿化体尾部，出

现前缘晕、尾晕共存，指示深部还有盲矿体存在；③从已知矿体剖面上，从上至下，As、Sb、Hg 异常由强→弱→强变化趋势，或一直为强异常，则指示深部有盲矿存在。

（2）角砾岩型钼矿床：Mo 异常强度的增强趋势方向，指示存在钼矿体的方向。

六、盲矿预测的初步成果

1. 金矿找矿效果（图 2－4－4）

（1）在 2 线剖面预测靶位内施工两个钻孔，共发现金矿体 6 条。

（2）在 103 线 ZK1031 中发现 6 条金矿体（其中 2 条为金钼矿体）。

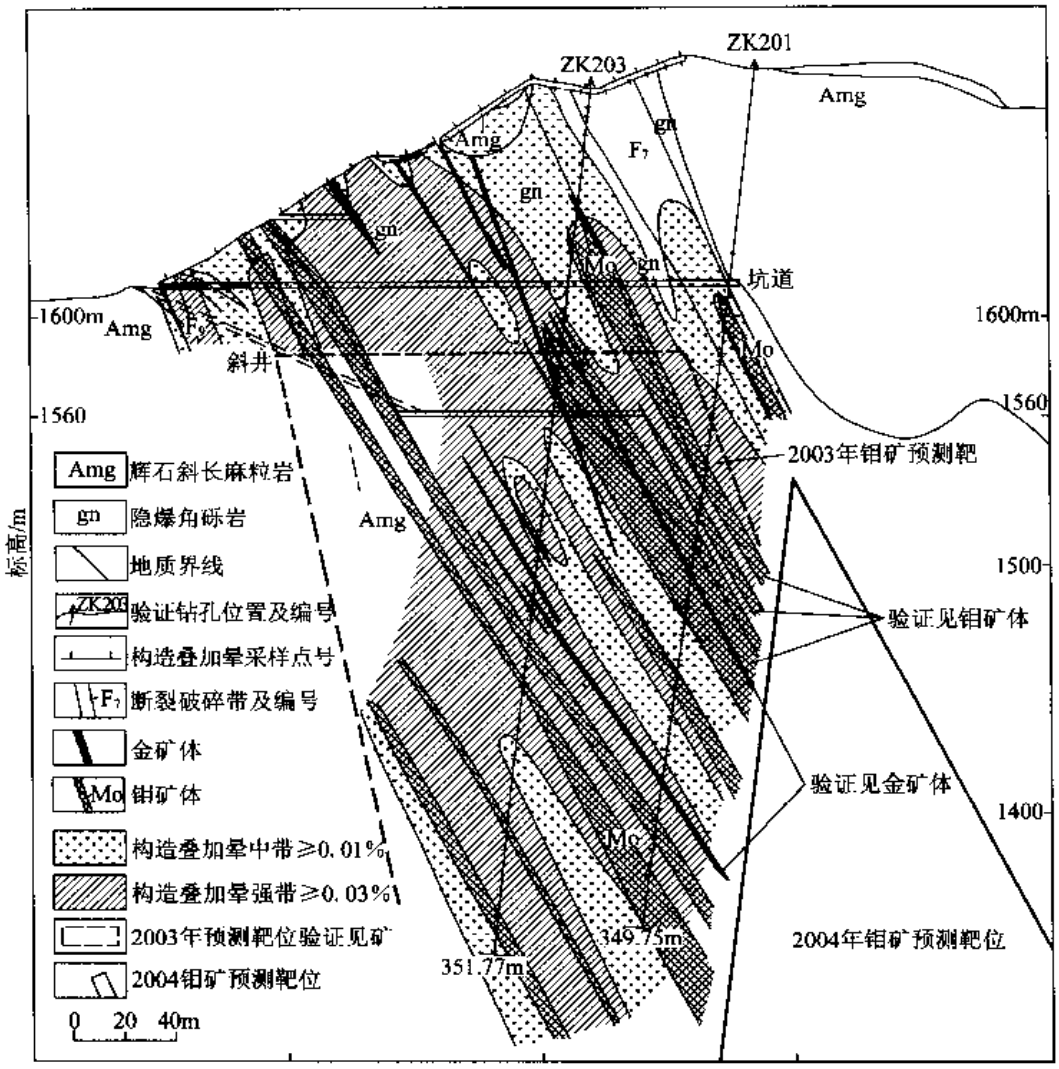


图 2－4－4　山西阳高九对沟金－钼矿床构造多建造晕预测见矿垂直纵投影图

2. 钼矿找矿效果

（1）在九对沟首次发现钼矿化。2003 年矿山根据 Mo 异常及靶位对 CM_2 坑道重新分析 Mo，圈出了 6 个 Mo 矿体，最厚 12m（Mo 矿体边界品位 0.03%），平均 0.06%，并提出了钼矿深部预测靶位。2 线打二孔发现 Mo 矿向下有变富趋势，在 2003 年钼预测靶位 1

内圈出了10层Mo矿体，最厚达30m。

（2）在10线ZK1003孔发现Mo矿体5条。

（3）在103线ZK1031孔发现了6条Mo矿体（其中2条为金钼矿体）。

3. 找矿前景

根据验证结果，认为该区域钼有很大潜力。

模型15　山西刁泉银－铜矿床的构造叠加晕模型及预测效果

2004年建立了刁泉矽卡岩型银－铜矿床的构造叠加晕模型，这是研究和建立银－铜等有色金属矿床构造叠加晕模型的第一个实例，用模型对矿区深部进行了预测，提出了盲矿靶位，目前已有两个靶位经坑道验证见银铜矿体。初步取得了好的效果。

一、矿床规模及类型

山西刁泉银－铜矿床是大型－矽卡岩型银－铜（金）矿床。

二、矿床地质特征

1. 成矿环境

（1）地层：与成矿有关地层主要是寒武系地层，其次是青白口系。

（2）构造：与成矿有关构造为北西向和北东向两组断裂及岩体与寒武系中、上统灰岩接触构造。前者控制了区内与成矿最密切的燕山期刁泉岩体、小彦－枪头岭岩体的分布；后者控制了矽卡岩型银、铜矿床的分布。

（3）岩浆岩：与成矿有关的刁泉岩体、小彦－枪头岭岩体由黑云母辉石闪长岩、斑状黑云母花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、石英斑岩组成。

刁泉银－铜矿床产于刁泉岩体接触带的矽卡岩体中。刁泉岩体平面呈近圆形，直径900m，面积0.7km^2，岩性由花岗斑岩、石英斑岩和黑云母花岗岩组成，以前两种岩石为主。

2. 变质作用

矿区内变质作用为：热变质和接触双交代作用。

热变质作用：岩浆侵入使围岩发生热变质作用，灰岩重结晶形成大理岩化灰岩或大理岩，砂页岩角岩化或形成角岩。

接触双交代作用：岩体与灰岩接触带，由于双交代形成内矽卡岩－矽卡岩－外矽卡岩带，银铜矿主要赋存于矽卡岩带内。

3. 矿化类型及有利成矿部位

（1）刁泉矿区内矿化类型有矽卡岩型银铜矿、角岩中银铜矿、青白口砾岩中银铜矿，

以矽卡岩型银铜矿为主。

（2）矽卡岩型银铜矿有利成矿部位有4个：上部大理岩凸入岩体部位，岩体凸入大理岩部位，岩体内矽卡岩中和接触带外带大理岩层间，其中以大理岩凸入岩体的港湾最有利成矿。

4. 矿体特征

（1）矿体规模：环刁泉岩体接触带长约3000余米的矽卡岩体中都有矿体分布。其中又以25号矿体（群）规模最大，长900m，延深99～280m，厚度1～42m。

（2）矿体形态：接触带及矽卡岩体的形态、产状控制着矿体的形态和产状。岩体向内凹部位的矽卡岩体为有利成矿部位。矿体形态复杂，呈透镜状、弯月状、不规则状，在走向和倾向矿体具有膨缩、分枝复合特点。在外带大理岩中也有一些层间小的矿体。

5. 成矿阶段

矽卡岩期：无矿阶段和磁铁矿阶段；石英硫化物期：含铜硫化物阶段和含银硫化物阶段，为主成矿期；表生期。

6. 矿物组成

发现有38种矿物，其中金属矿物21种，主要铜矿物有辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿；铁矿物有磁铁矿、褐铁矿；银矿物主要有自然银、辉银矿、硫碲铜银矿、银金矿等；金矿物主要有银金矿。此外还有黄铁矿。

7. 成矿模型

中生代侏罗纪早期，区域地壳活动强烈，形成了NW向和NE向断裂构造，随后燕山中期中酸性岩——黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩先后充填形成刁泉岩体。

岩体侵入时与寒武系灰岩和砂页岩接触，发生热变质作用，灰岩重结晶大理岩化或形成大理岩，砂页岩角岩化或形成角岩。在岩体与大理岩接触构造有利地段，在后期岩浆热液作用下发生双交代，称为矽卡岩期，其中无矿矽卡岩阶段形成各类矽卡岩，磁铁矿阶段形成含磁铁矿化矽卡岩，并能形成磁铁矿体。

石英硫化物期为主成矿期，含Cu、Ag等成矿元素及伴生元素Pb、Zn、Au、As、Sb、Mo等的成矿热液沿接触带的矽卡岩带构造有利部位渗流、交代、充填、沉淀成矿。在含铜硫化物阶段形成以铜为主的铜银矿化，在含银硫化物阶段形成以银矿为主的银铜矿化，二者叠加部位形成富矿体。成矿晚期花岗斑岩、石英斑岩侵入带来Ag、Pb、Zn又叠加在早期形成矿体之上，使矿体Ag、Cu品位更高。但石英斑岩和花岗斑岩对先形成矿体在局部也有截断、穿插破坏现象。

三、矿床地球化学特征

1. 矿区内不同岩石中微量元素含量特征

大理岩中Hg、Co、Ni、Cr、Ti含量最高，As、Sb、Mo、W、Sn含量最低；角岩中Au、Zn、V含量最高，Mn含量最低；刁泉岩体中Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Mo、Bi、Mn、Sn含量均高于世界酸性岩平均值，反映了刁泉岩体与成矿的亲缘关系。

2. 各类矽卡岩中微量元素组合

以各元素的衬值≥2 为标准，则各类矽卡岩的元素组合是：

透辉石矽卡岩：Au、As、Sb、Mo、Cr、Bi、Mn、Sn；

石榴子石矽卡岩：Ag、As、Sb、B、Ni、Cr、Bi、Mn；

石榴子石－透辉石矽卡岩：Ag、Cu、Pb、As、Sb、B、Mo、Co、Cr、Bi、Ti、Mn、Sn；

绿帘石矽卡岩：Au、Cu、As、Sb、B、Co、Ni、Cr、Bi、Ti、Mn、Sn；

绿帘石－石榴子石矽卡岩：Ag、Cu、As、Sb、B、Mo、Co、Ni、Cr、Bi、Mn、Sn。

3. 矿床的元素组合特征

（1）矿床元素组合：元素参加组合的标准是以其衬值为标准，Hg 衬值≥1，Au、Sb、W、Ti、Mo、Pb、V 衬值≥2，As、B、Ni、Zn 衬值≥3，Mn、Cr、Co 衬值≥4，Ag、Cu、Bi、Sn 衬值≥10。矿床的元素组合是：

银矿体：Ag、Cu、Au、As、Sb、Hg、B、Pb、Bi、Co、Cr、Ni、Sn；

银铜矿体：Ag、Cu、Au、As、Sb、Hg、B、Pb、Bi、Ni、Sn；

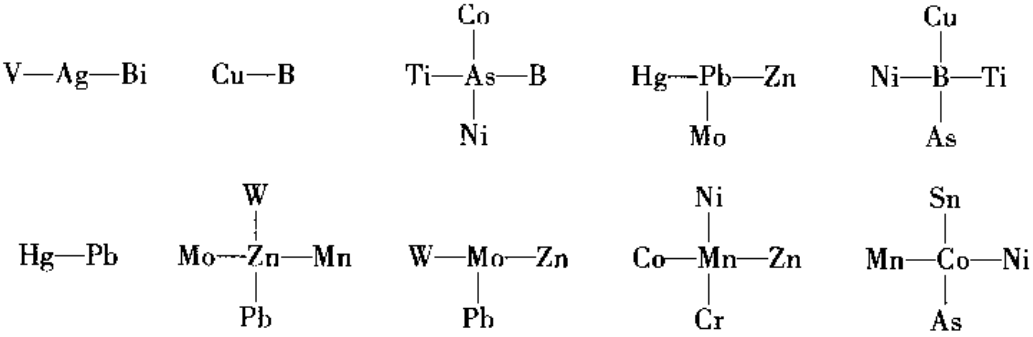
银铜铁矿体：Ag、Cu、Au、As、Sb、Pb、Zn、Mn、Co、Cr、W、Sn；

磁铁矿体：As、Sb、B、Pb、Zn、Mn、Sn、Co；

刁泉银铜矿床的元素组合：Ag、Cu、Au、Pb、As、Sb、Sn、（B、Hg、Bi、Cr、Co、Ni、W、Zn、Mn）。

（2）银铜矿床中元素相关星

在 1% 的信度下，元素间相关的最相关系数值：$R_{\alpha=0.01}=0.449$。以主元素为中心将相关元素与其相连成星状：



4. 不同成矿阶段矿体（晕）的元素组合

矽卡岩{无矿阶段：As、Sb、B、Ni、Mo；
磁铁矿阶段：As、Pb、B、Mn、Sn、Zn、Co；

石英硫化物期{含铜硫化物阶段：Ag、Cu、Au、Pb、Zn、As、Sb、B、Hg、Bi、Mo、Mn、Co、Ni、Ti、Sn；
银硫化物阶段：Ag、Cu、Au、As、Sb、B、Hg、Bi、Mo。

四、矿床构造叠加晕特征

刁泉银铜矿床具有多期多阶段叠加成矿成晕的特征，其中矽卡岩期的无矿阶段主要是双交代作用，磁铁矿阶段带来 Ag、Cu 很低，Ag、Cu 及其伴生元素 As、Sb、B、Hg、Au、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co 等主要是石英硫化物期的含铜硫化物和含银硫化物阶段带来，刁泉银铜矿也主要是这两个阶段成矿成晕叠加的结果。刁泉银铜矿床构造叠加晕总体特征为：

（1）每个成矿阶段形成矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕。一个成矿阶段形成的串珠状矿体，有总体的前缘晕和总体尾晕，但上部矿体又有自己的小尾晕，下部矿体又有自己的小前缘晕，其规模和强度均小于总体前缘晕和尾晕，当上下两个矿体距离相近时，则上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕共存。

（2）同阶段形成的矿体（晕）在接触带的矽卡岩体中有多种叠加形式或结构，如不同阶段形成的矿体（晕）由同位叠加→大部分同位叠加→部分同位叠加→上部矿体的尾晕与下部矿体前缘晕叠加共存或相接，因此在构造叠加晕剖面图上异常表现比较复杂。

（3）矿床中在矿体周围能形成异常的元素有 Ag、Cu、Au、Pb、Zn、As、Sb、B、Hg、Bi、Mo、Mn、Co 、Ni 等。

（4）单个成矿阶段形成矿体（晕）的轴（垂）向分带共性是：As、Sb、B、Hg 等元素的强异常总是出现在矿体的上部及前缘，为前缘晕特征指示元素；Bi、Mo、Mn、Co 、Ni 的强异常总是出现在矿体的下部及尾晕，为尾晕特征指示元素；Ag—Cu 正相关，Ag、Cu 异常是以矿体为中心在轴向和横向上随远离矿体其浓度降低，其异常强度由内带→中带→外带，其中、内带异常是近矿的指示。Au 主要富集于银铜矿体下部，Pb、Zn 的强异常反映了含银硫化物阶段与含铜硫化物阶段形成矿体（晕）同位叠加部位，即银铜矿体较富部位，Ag、Cu、Pb、Zn 是近矿指示元素。

五、矿床构造叠加晕模型

1. 构造叠加晕模式

根据刁泉银－铜矿床的构造叠加晕的轴（垂）向分带和叠加结构，总结出了矿床的构造叠加晕模式（图 2－4－5）：

（1）矿体赋存于寒武系大理岩与黑云母花岗岩接触带的矽卡岩体内，其中围岩凸向岩体的港湾内或岩体凸入大理岩形成的矽卡岩体内都有利成矿，其次为岩体内矽卡岩和近接触带岩体内裂隙系统，外带大理岩层间只能形成小矿体。有利成矿标高在 1610m 之上，在 1600m 之下，其围岩多为角岩，对成矿不利，在角岩中只有顺层小矿体，再往下青白口砾岩中已发现矿体。

（2）上部大理岩凸入岩体的港湾是成矿最富集地段，若下部有岩体凸入大理岩的港湾也是有利成矿部位。在剖面上接触构造呈反“S”型，矿体呈串珠状。上、下两个矿体各有自己的前缘晕（As、Sb、Hg、B 晕）、尾晕（Bi、Mo、Mn、Co、Ni 晕）和近矿晕（Ag、Cu、Pb 晕）。上、下两个矿体可以是一个阶段形成，也可以是两个阶段都在相同构造空间都形成串珠状矿体的同位叠加，也可是两个阶段分别形成上、下两个矿体。当两个

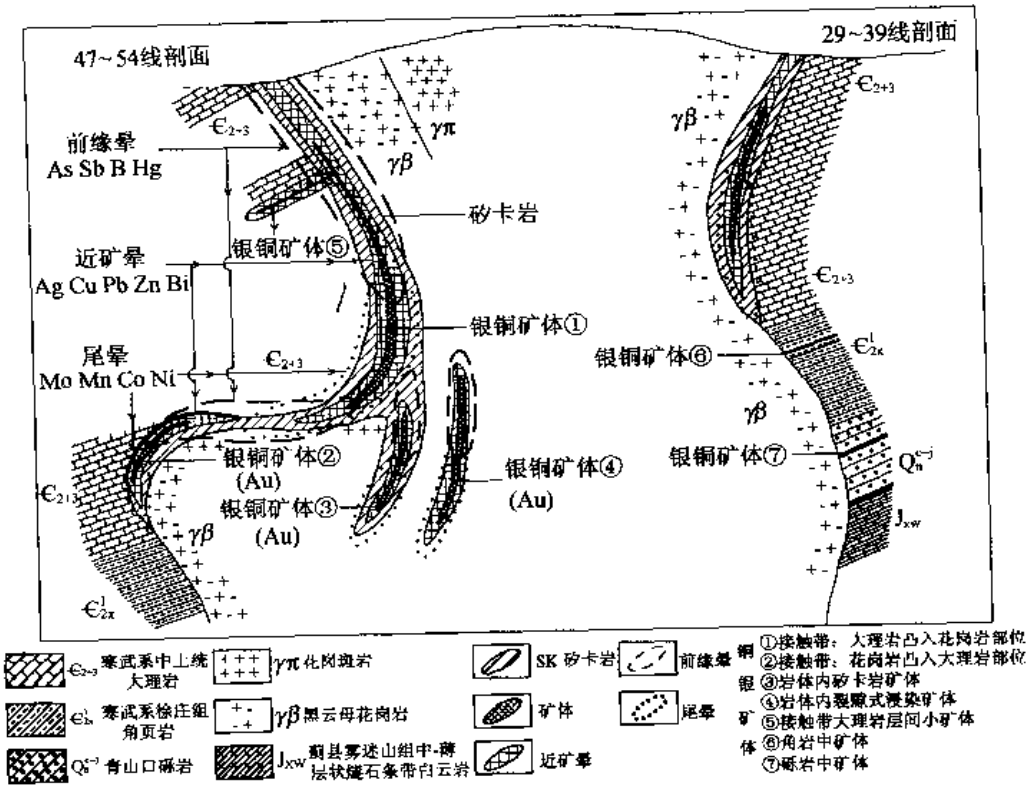


图 2－4－5　山西刁泉银－铜矿床构造叠加晕模式剖面图

矿体相近时，其共性是上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕叠加共存。

2. 盲矿预测的构造叠加晕标志

（1）在有 Ag、Cu 弱异常条件下，若前缘晕特征指示元素 As、Sb、Hg、B 有强异常出现，而 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 尾晕特征指示元素异常弱，则指示深部有盲矿存在。相反，前缘晕元素异常弱，而尾晕元素异常强，则指示深部无矿。

（2）在矿体的尾部或尾晕出现前缘晕特征指示元素 As、Sb、Hg、B 的强异常与尾晕特征指示元素 Bi、Mo、Mn、Co 的强异常共存，则指示深部有盲矿存在。若在矿体中、下部出现前晕缘与尾晕共存，则指示矿体向下延伸还很大。

（3）构造叠加晕轴向下部前缘晕增强趋势是指示深部还有盲矿存在的标志。在叠加晕剖面上或垂直纵投影图上，在有 Ag、Cu 异常的条件下，前缘晕特征指示元素 As、Sb、Hg、B 的异常从已知上部矿体前缘→头部→中部→下部→尾部由强→弱→最后又变强，与矿体尾部的指示元素 Bi、Mo、Mn、Co、Ni 的强异常共存，则指示深部还有盲矿存在。若前缘晕指示元素的异常从已知矿体前缘→矿体尾部都很强，则反映了多期、多阶段形成的矿体顺序下移，部分同位叠加，若在矿体尾部仍是前缘晕指示元素的强异常与尾晕元素异常共存，同样是深部有盲矿体存在的重要标志。

（4）若 Ag、Cu 异常较弱，前缘晕指示元素异常也较弱，但很连续，则指示盲矿体较深。若 Ag、Cu 异常较弱，且前缘晕指示元素异常也较弱而不连续，则指示深部只有小矿体或无矿。

六、预测及验证结果

共提出30个预测靶位，其中矽卡岩（SK）中16个，接触带中11个，矿体延伸部位3个。

通过矿山验证，已有两个靶位见矿（48B－1靶位和50A－1靶位），其中50A－1靶位见图2－4－6。

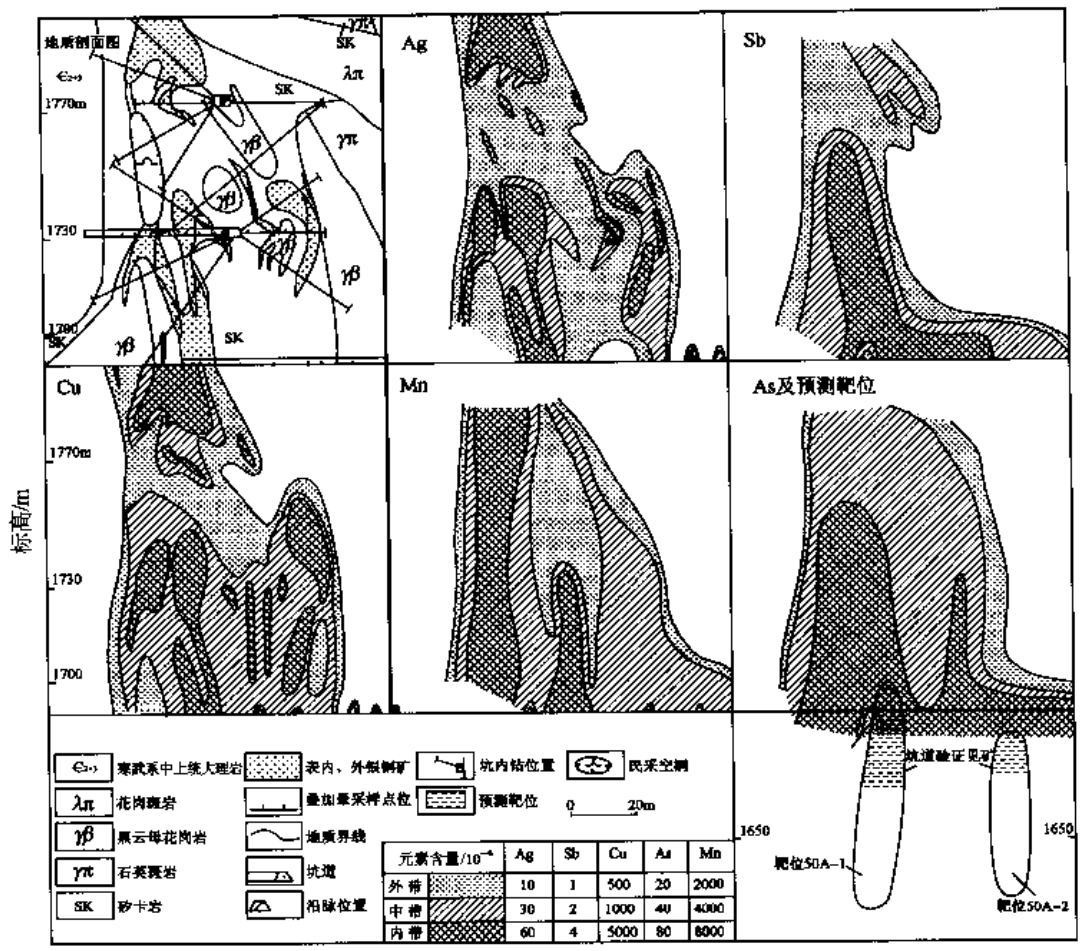


图2－4－6　山西刁泉银－铜矿床50A－1线构造叠加晕及验证见矿靶位剖面图

第五章　冀北、内蒙古典型金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测效果

模型16　河北东坪金矿床的构造叠加晕模型

一、矿床规模及类型

河北东坪金矿床是特大型石英脉－钾长石化蚀变岩型、复合型金矿床。

二、矿床地质特征

东坪金矿处于华北地台北缘中段，崇礼－赤城断裂二级构造的南侧，产于水泉沟碱性杂岩体中段南侧与太古宇桑干群涧沟组接触带的内接触带内。地质特征如下：

（1）矿体赋存于水泉沟碱性杂岩体与太古宇谷嘴子群地层的内接触带的钾长石化二长岩中。碱性杂岩体含 Au 平均值为 3.2×10^{-9}（武警黄金指挥部）、2.39×10^{-9}等。

（2）太古宇桑干群涧沟河组岩石主要是角闪斜长片麻岩及斜长角闪片岩等。含 Au 平均值为 6.13×10^{-9}，高于岩体。

（3）控矿构造是由 NW 向与 NNE 向共轭追踪张扭性断裂（NNE）控矿、容矿。

（4）矿体特征：已发现大小不等的 69 条矿脉，分布在长 7000m、宽 3000m 范围内，分为 9 个 NNE—NE 向具近似等距的矿化带，其中 1～70 号脉群、2 号脉群为主脉。主脉长 1300m，延伸 800m，走向 NE0°～20°倾向 SE，倾角 30°～55°。1～70 号脉群分为上、下两个富集矿段，上部富集矿段赋存标高为 1464～1670 m（地表），下部富集矿段深部未控制。1～70 号脉群由 50 条平行矿脉，60 多个矿体组成。

（5）矿化类型：①含金石英脉、含金石英细脉型；②含金石英脉及脉旁蚀变岩型；③硅化钾化蚀变岩型。矿床一般上部为含金石英脉型、深部过渡为硅化钾化蚀变岩型。

（6）围岩蚀变：以钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化为主，其次有碳酸盐化、重晶石化、绿泥石化等。

（7）矿物组合：金属矿物以黄铁矿为主，其次有方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、镜铁矿，少量矿物有闪锌矿。非金属矿物以石英、钾长石为主，其次为绢云母、绿泥石等。金主要呈自然金、碲金矿存在。

（8）成矿阶段：热液期分为三个阶段：Ⅰ阶段主要矿物为黄铁矿，次要矿物有方铅矿、磁铁矿和自然金；Ⅱ阶段主要矿物为黄铁矿和方铅矿，其次有黄铜矿、磁铁矿、闪锌矿、自然金，为多金属硫化物阶段；Ⅲ阶段主要矿物为黄铁矿、磁铁矿和自然金，其中Ⅰ、Ⅱ阶段为主成矿阶段。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床的元素组合，以矿体中各元素衬值≥1为标准，东坪金矿元素组合为Au、Ag、Pb、Mo、Cu、Zn、Mn、Co、Ba、Bi、Sb、Ti。

（2）不同成矿阶段元素组合特征：①Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段都带来较高的元素有Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Mo、Bi、Te、W、Co；②第Ⅰ阶段Co、Ni最高，第Ⅱ阶段Au、Cu、Pb、Zn最高，第Ⅲ阶段Ag、As、Sb、Bi、Te、W、Mo、Ba、V、Be、F最高；③Au、Cu、Pb、Zn是Ⅱ>Ⅲ>Ⅰ，Ag、As、Sb、Bi、W是Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ；④蚀变岩型金矿含Pb、As、Bi、Ba、F，高于石英脉型，而Au、Ag、Cu、Zn、Sb相反。

四、矿床地球化学轴（垂）向分带特点

表2-5-1是1号矿脉不同标高元素平均值，从表可以看出，在1100~1584m间垂深484m内，以1464m标高为界，上部为贫矿化体，下部为较富矿体。特征如下：

（1）矿床地球化学轴（垂）向分带序列：上部矿化体从上至下是：Cu—Zn—Au—Ba—Pb—Hg—As—Te—Sb—Bi—Co—V—Sr—Mo—Ni；下部矿体是：Au—Cu—Pb—Zn—As—Sb—Ag—Bi—Hg—Mo。上部矿体Hg、As、Sb偏矿体下部，出现“反分带”，反映了下部矿体前缘晕叠加，下部矿体的As、Sb、Hg偏矿体下部，“反分带”可能指其下还有盲矿存在。

（2）矿床地球化学参数的轴（垂）向变化规律：从1584→1464→1100m，Au（$\times10^{-6}$）由2.88→2.47→1.4→0.96（1464m）→5.06→8.1→6.78→2.3，Pb（$\times10^{-6}$）由102.2→86.82→63.5→57（1464m）→188→212→41→40，Au明显分上下两个矿体，上部为贫矿，下部为富矿，且下部矿体Pb高，反映了在第Ⅰ阶段形成上、下矿体（贫矿）的基础上，第Ⅱ阶段在下部矿体即1464m标高以下叠加的特点，Ag、Cu、Zn也是从上→下，由高→低→高→低的变化特点。1464m标高以上Hg、As、Sb高值异常是下部矿体的前缘晕，而1400m以下As、Sb高值异常是深部盲矿的指示。

表2-5-1　1号矿脉不同标高元素平均值及比值

标高/m	Cu	Mo	Pb	Zn	Ag	Bi	Sb	As	Hg	Ba	Ni	V	Co	As/Bi	Ba/Mo	Sb/Bi	Au
1584	71.30	1.06	102.2	71.30	0.30	0.52	0.29	2.85	0.05	1287.0	18.78	22.74	9.59	5.5	1214	0.56	2.88
1538	51.36	1.96	86.82	37.27	0.55	2.53	0.48	4.38	0.04	961.4	18.18	28.68	13.59	1.73	491	0.19	2.47
1503	32.86	1.16	63.53	36.82	0.36	1.13	0.28	1.57	0.03	793.0	21.13	23.34	12.90	1.39	684	0.25	1.40
1464	20.54	1.51	57.14	35.71	0.25	1.00	0.20	0.79	0.03	520.8	24.48	18.96	6.15	0.79	345	0.2	0.96
1400	44.10	1.13	188.1	53.20	0.26	1.00	0.96	0.95	0.03	547.0	15.00	20.34	9.11	0.95	484	0.96	5.06
1300	41.97	1.01	212.4	58.27	0.50	1.13	0.92	0.81	0.03	691.6	17.00	24.52	10.07	0.72	685	0.81	8.10
1200	25.0	1.50	41.02	31.00	0.96	1.00	0.97	1.10	0.03	475.0	15.00	23.1	15.5	1.0	317	0.88	6.78
1100	20.0	1.20	40.0	30.50	0.80	1.50	0.84	0.86	0.03	575.0	15.00	25.2	7.50	0.57	479	0.56	2.30

（据王学方、王玉娟，1996）

五、矿床构造叠加晕模型[22]

根据矿床的构造叠加晕特点，建立了东坪金矿床的构造叠加晕模式（图 2－5－1），其特点是：

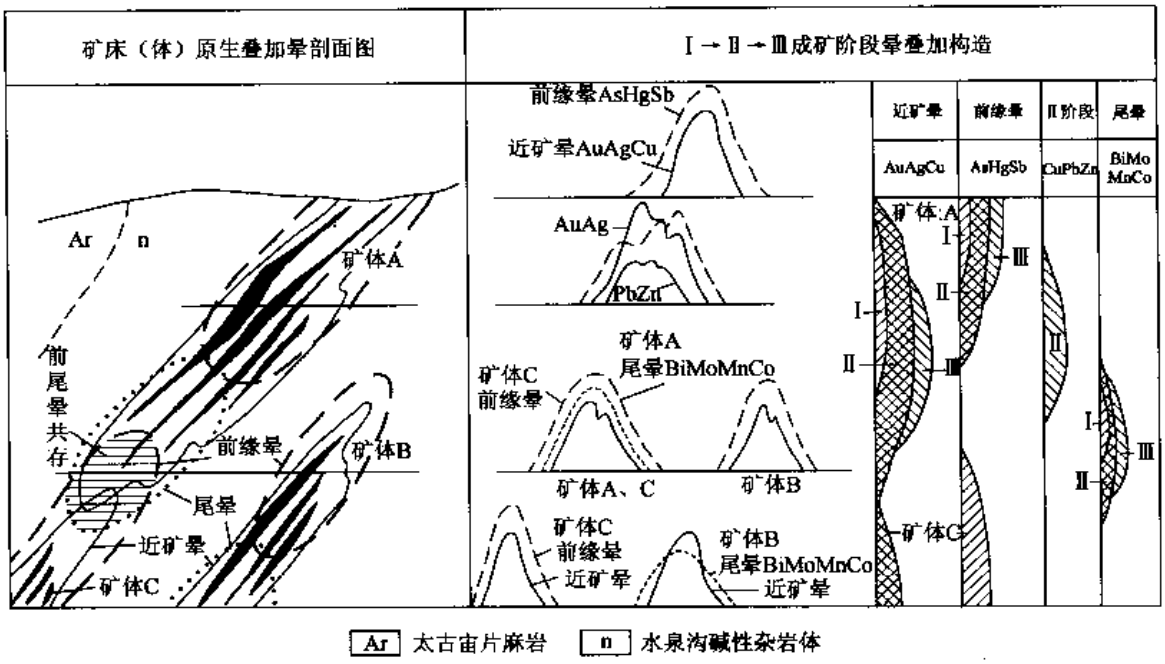


图 2－5－1　河北东坪金矿床构造叠加晕模式剖面图

（1）三个不同阶段形成的矿体（晕）在空间上叠加，每个阶段形成的矿体都有自己的头、尾晕，单阶段形成矿体的前缘特征指示元素有 Hg、As、Sb、Ba，尾晕都有 Bi、Mo、Mn 等，近矿晕为 Au、Ag（Cu）。

（2）第Ⅰ阶段形成贫矿，如矿体 A 上部 1464m 标高以上的矿体，而在 1464m 以下有第Ⅱ阶段即多金属硫化物阶段叠加，矿体较富。

（3）模型所反映矿体不同部位叠加晕叠加特点是指导盲矿预测和判别金矿体向下延深大小的重要标志，特别是出现前、尾晕共存，或垂直分带序列的“反常”或地球化学参数在下部中段出现反转，是深部有盲矿或矿体向下延深很大的重要指示。

模型 17　内蒙古赤峰柴胡栏子金矿床的构造叠加晕模型及盲矿预测

一、矿床规模及类型

内蒙古赤峰柴胡栏子金矿床是中型－石英脉－蚀变岩型金矿床。

二、矿床地质特征

（1）成矿环境：与成矿有关的地层为太古宇建平群，岩性为含石墨绢云母片岩、斜长角闪片麻岩和大理岩透镜体。NW 向断裂为区内控矿构造，燕山期花岗岩和闪长岩分布于矿区北侧和南侧。

（2）矿脉特征：区内 3 个矿化带中，1 号矿化带内圈出了 5 个金矿体，矿体倾向 SW、倾角 50°～70°，长度 50～300m，延深 50～170m，金品位 5～8g/t。矿体由含金石英脉及其上、下含金蚀变岩组成，矿体与围岩界限不清。矿体形态不规则，呈似脉状、透镜状。

（3）围岩蚀变：硅化、绢云母化、黄铁矿化与矿化关系密切，其次有碳酸盐化、绿泥石化等。

（4）成矿期、阶段：石英－硫化物阶段（Ⅰ）；热液期分为四个阶段：石英－黄铁矿阶段（Ⅱ），石英－多金属硫化物阶段（Ⅲ），乳白色石英阶段（Ⅳ），硫化物－碳酸盐阶段（Ⅴ），其中Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段。

黄铁矿是主要金属矿物，也是重要的载金矿物。

三、矿床地球化学特征

（1）矿床的元素组合（衬值＝平均值/背景值≥1）：Au、Ag、As、Sb、Pb、Cu、Bi。

（2）不同成矿阶段元素组合（以衬值≥1.5 为标准）：Ⅰ－As；Ⅱ－Au、Ag、As、Ni；Ⅲ－Au、Ag、As、Bi、Cu、Pb、Zn、Ni；Ⅳ－Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、Ni；Ⅴ－As、Sb、Ni、Mn。

四、矿床地球化学轴（垂）向分带特征

（1）原生晕轴（垂）向分带序列：从上→下为 Hg—As—Sb—B—Au—Cu—Pb—Zn—Bi—Mo—Mn—Co—Ni。

（2）地球化学参数轴（垂）向变化规律：从地表（1000m 左右）→925m→885m→850m，Au 含量（10^{-6}）由 4.4→10.8→11.4→3.68；As＋Sb（10^{-6}）由 11→45→3→10；As（10^{-6}）由 10→44→2.7→9.5；Sb（10^{-6}）由 0.9→0.5→1.9→1.6；Bi（10^{-6}）由 0.6→0.5→1.2→1.4。Au 由低→高→低，而 As、（As＋Sb）由低→高→低→升高，指示了深部盲矿体前缘晕的叠加。

五、矿床构造叠加晕模型

根据矿床的构造叠加晕特征，建立了矿床的构造叠加晕模式（图 2－5－2），确定了盲矿预测标志。

（1）在矿体周围能形成异常的元素有 Au、Ag、Bi、Cu、Pu、Zn、As、Sb、B、Hg、Mo、Mn、Co、Ni。

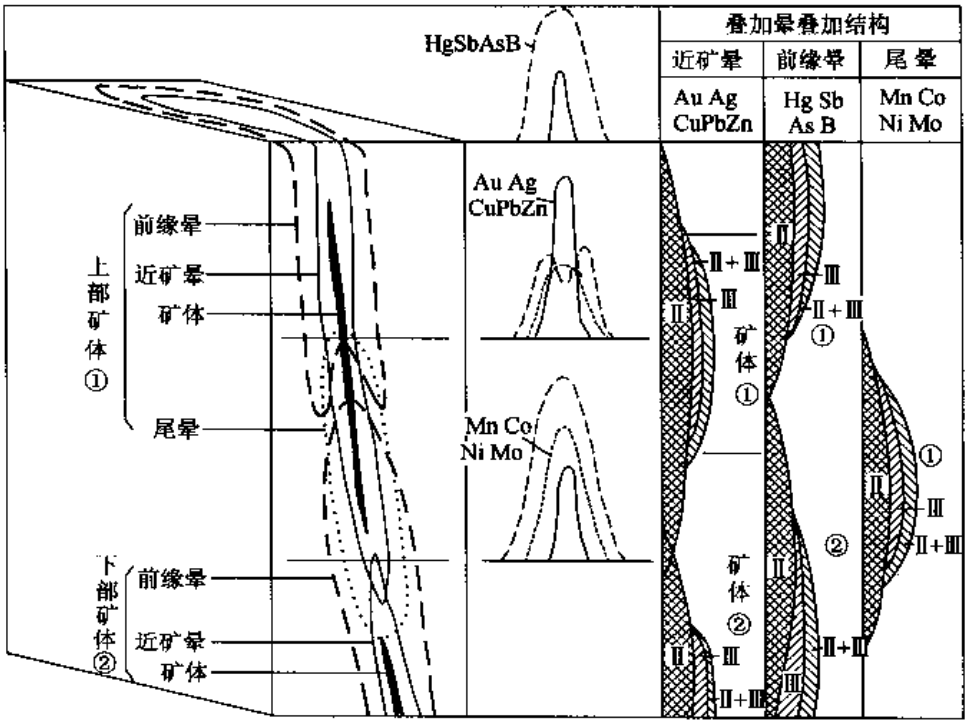


图 2－5－2　内蒙古赤峰柴胡栏子金矿床构造叠加晕模式剖面图

Ⅱ、Ⅲ分别代表第Ⅱ、Ⅲ成矿阶段的晕；Ⅱ＋Ⅲ表示晕叠加的结果

（2）矿体前缘晕指示元素为 Hg、As、Sb、B；近矿晕指示元素为 Ag、Cu、Pb、Zn；尾晕元素为 Mo、Mn、Co、Ni。其中 Cu、Pb、Zn 异常反映多金属硫化物阶段的叠加。

（3）在有 Au 弱异常条件下，出现 As、Sb、Hg、B 异常，指示深部有盲矿。

（4）据矿体具多期多阶段叠加的特点，已知矿尾部出现前、尾晕共存，指示深部有盲矿存在，若在矿体中、下部出现前、尾晕共存则指示矿体向下延伸还很大。

（5）地球化学参数（As＋Sb）、As、Sb 从已知矿头→尾由高→低→又升高，指示深部还有盲矿存在。

（6）原生晕轴向出现反分带，指示深部还有盲矿。

六、预 测 结 果

根据模式和标志对该矿区深部及外围进行了预测，共提出了 14 个盲矿靶位，并对靶位进行了分类、排序。部分靶位通过钻孔验证已见矿。

主要参考文献

[1] 阮天健、朱有光. 地球化学找矿. 北京：地质出版社. 1985.

[2] 邵跃. 热液矿床岩石测量（原生晕法）找矿. 北京：地质出版社. 1997.

[3] 欧阳宗圻、李惠、刘汉忠. 典型有色金属矿床地球化学异常模式. 北京：科学出版社. 1990.

[4] 张均. 现代成矿分析的思路、途径、方法. 武汉：中国地质大学出版社. 1994.

[5] 李惠、张文华、刘宝林. 金矿床轴向地球化学参数的叠加结构的理想模式及其应用准则. 地质与勘探，第35卷（总第366期）. 1999.

[6] 李惠. 热液金矿床原生叠加晕的理想模式. 地质与勘探，第24卷（总322期）. 1993.

[7] 李惠、张文华等. 大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型. 北京：冶金工业出版社. 1998.

[8] 邹光华、欧阳宗圻、李惠. 中国主要类型金矿找矿模型. 北京：地质出版社. 1996.

[9] 杨士望. 胶东半岛东部金矿地质. 青岛：青岛海洋大学出版社. 1993.

[10] 李惠、郑涛、汤磊、张文华、刘宝林. 山东乳山三甲金矿床的叠加晕模式. 黄金地质，第4期. 1998.

[11] 刘振昌、王敬臣. 对山东金青顶金矿床原生叠加晕特征的跟踪研究及预测. 地质找矿论丛，第15卷第2期. 2000.

[12] 李惠、张文华、郑涛. 山东乳山金青顶金矿床的叠加晕模式. 矿产与地质，第4期. 1998.

[13] 李惠. 山东牟平邓格庄金矿床的叠加晕模型. 黄金地质，第3期. 1999.

[14] 李惠、张文华. 山东新城金矿床的叠加晕模式. 地质找矿论丛，第1期. 1998.

[15] 李惠、郑涛、汤磊. 山东大尹格庄金矿床隐伏盲矿定位预测的叠加晕模式. 有色金属矿产与勘查，第3期. 1998.

[16] 李惠、王支农、李富国. 山东招远灵山沟金矿床的叠加成矿成晕模式. 桂林工学院学报，第2期. 1998.

[17] 李惠、张文华、赵宗勤、邵建波、王志远. 陕西东桐峪金矿深部盲矿预测的构造叠加晕模型：中金黄金股份有限公司学术年会论文集. 2002.

[18] 李惠、张文华、王支农、张国义、陈军胜、高延龙、贺永利、赵宗勤. 小秦岭石英脉型金矿床的构造叠加晕模式. 地质与勘探，第4期. 2004.

[19] 李惠、郑涛、汤磊、惠德峰、史敬海等. 陕西双王金矿床的原生叠加晕模式. 桂林工学院学报，第40卷，第4期. 2000.

[20] 陕西地矿局三队，武汉地质学院北京研究生院，陕西省地矿局西安测试中心. 陕西双王金矿床地质特征及其成因. 西安：陕西科学出版社. 1993.

[21] 李惠、高洪兴、李绍波. 山西省堡子湾金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型. 地质找矿论丛，第1期. 2004.

[22] 常志民、李永才、李惠. 河北东坪、后沟金矿床地质－地球化学找矿模型，中国主要类型金矿床找矿模型论文集（104～112页），邹光华、欧阳宗圻、周庆来、李惠等，地质出版社. 1996.

附1：　原生叠加晕－构造叠加晕新方法、新技术研究完成的项目

在研究原生叠加晕和构造叠加晕中，先后完成了国家攻关项目（7项）、冶金部重点项目（3项）、国家白银基金重点项目（2项）、国家黄金局重点项目（4项）、金矿山项目（22项），共38项。参加人次达70人次。

1. 国家攻关项目——7项

（1）我国主要类型金矿综合方法找矿模型研究（“八五”国家攻关项目编号90051－09），项目负责人：邹光华、欧阳宗圻、李惠、薛裕鹤、郭瑞栋，项目办主任：周庆来，1990～1994年。

（2）胶东金矿原生地球化学找矿模型研究及预测（国家攻关项目专题，编号90051－09－01），立项论证及技术负责人：李惠，专题组长：李富国，成员：马久菊、方敏、王军芳等，1990～1994年。

（3）河北张一宣地区金矿地球化学找矿模型研究及预测（国家攻关项目专题，编号90051－09－05），立项论证及技术负责人：李惠，专题组长：常志民，成员：李永才、李燕、徐爱武等，1990～1994年。

（4）五台山—恒山地区金矿地球化学找矿模型研究及预测（国家攻关项目专题，编号90051－09－13），立项论证：李惠，专题组长：陈举煦，成员：江贻方、冶金部第三地质勘查局物探队：文友梓、李爱生、马鹏真、盛艳宁、郝向泽，1990～1994年。

（5）包裹体地球化学找金的研究（国家攻关项目专题，编号90051－10－B－1），立项论证及专题组长：李惠，副组长：王支农，成员：苑月肖、北京矿产地质研究院：娄元生、王真光、蒋仁依、张秀红，1990～1994年。

（6）胶东大型、特大型金矿叠加成矿成晕模型及盲矿预测研究（国家攀登计划课题，编号85B－34－5B），立项论证及负责人：李惠，成员：郑涛、张文华、王支农、李富国、刘宝林、汤磊等，1994～1998年。

（7）隐伏金矿定位预测的叠加晕新方法研究（“九五”国家攻关项目专题，编号96－914－03－04－04），立项论证及专题负责：李惠、郑涛，成员：汤磊、刘宝林。示范矿区：陕西太白金矿构造叠加晕研究及深部盲矿定位预测。陕西太白金矿：惠德峰、史敬海、吴建勋、王立法、程建军、林龙华、张忠芳，1996～1999年。

2. 冶金部重点项目——3项

（1）寻找金银铅锌多金属盲矿的地球化学新方法新技术研究，组长：郑涛，1995年。

（2）金矿地球化学勘查评价的新方法新技术研究，专题组长：郑涛、田俊杰，1996～1997年。

（3）隐伏金矿定位预测的地球化学新方法研究，技术负责人：李惠，专题组长：张文华，成员：刘宝林，1997年。

3. 国家白银基金重点项目——2项

（1）晋东北银矿地球化学异常模式及找矿预测研究，立项论证：李惠，组长：陈举煦，成员：江贻方；冶金部第三地质勘查局物探队：文友梓、盛艳宁、郝向泽，1993～1994年。

（2）河北顺平西北地区银矿地质地球化学研究及预测，立项论证：李惠，组长：李富国，成员：苑月肖，1994年。

4. 国家黄金局重点项目——4项

（1）胶东金矿带地球化学专家预测系统的研究和预测，论证及技术负责：李惠，专题组长：李富国，成员：马久菊、王军芳、方敏，1990～1991年。

（2）河北围场朝阳湾金矿找矿预测研究，李富国，1992～1994年。

（3）河南小秦岭杨砦峪和四范沟金矿深部预测研究，论证及技术负责：李惠，组长：王支农，成员：苑月肖；河南秦岭金矿：高彦龙、董帅民、纪惠灵、董志平、刘宝堂、胡方敏，1993～1995年。

（4）辽宁岫岩金矿深部及外围预测研究，论证及技术指导：刘汉忠，组长：张文华、李永才；辽宁岫岩金矿、樊志宏等，1993～1995年。

5. 危机矿山项目：构造叠加晕研究及深部预测——22项

（1）山东招远灵山沟金矿深部地球化学预测，组长：李惠、李富国，成员：王支农、李德亮、马久菊、苑月肖；山东招远金矿立项，参加人员：孔庆存、马学彬、杨曰贡，1990～1991年。

（2）河北金厂峪金矿地球化学预测，李富国，1991～1992年。

（3）海南铁矿区化探找金研究，联系立项及论证：李惠，组长：王义为，成员：许金荣、李德亮，1991年。

（4）北京密云半城子西舵古金矿化探评价，论证及技术负责：李惠，组长：江贻方，1992～1993年。

（5）山东乳山三甲金矿深部地球化学预测，组长：李惠，成员：郑涛、汤磊、张文华；山东乳山三甲金矿立项，参加人员：耿仙湖、刘涛、徐伟，1995～1996年。

（6）山东招远曹家洼金矿深部地球化学预测，矿山立项，组长：李惠，成员：郑涛、汤磊，1995～1996年。

（7）山东招远纪山金矿深部地球化学预测，矿山立项，论证及组长：李惠，成员：郑涛、李富国、汤磊，1995～1996年。

（8）山东蓬莱大柳行庄官金矿2号脉深部地球化学预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：李富国、刘宝林；蓬莱大柳行金矿立项，参加人员：曲宏海、段会升、张志望、王会胜、杨春海，1996～1997年。

（9）内蒙古赤峰柴胡栏子金矿深部地球化学预测研究，论证及技术负责：李惠，组长：汤磊，成员：李富国、张文华；柴胡栏子金矿立项，参加人员：付东才、李杰、崔才、姜万军，1996～1997年。

（10）山东招远蚕庄金矿七里山矿床地球化学异常模式研究与深部盲矿定位预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：李富国、刘宝林；山东招远蚕庄金矿立项，参加人员：左宏伟、杨开春等，1997～1998年。

（11）山东乳山金矿及其外围某些石英脉深部含矿性预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：刘宝林；山东乳山金矿立项，参加人员：李涛、高祥海、耿仙湖、王瑞腾、陈绪松、于虎，1998年。

（12）山东乳山金矿、初家沟金矿等十二个金矿床（点）

深部含矿性预测，组长：李惠，成员：王敬臣、刘宝昌、丘陵番；山东乳山金矿立项，参加人员：李涛、高祥海、耿仙湖、王瑞腾、陈绪松、于虎，1999年。

（13）河南文峪金矿区V03、V01、V08脉深部盲矿定位预测的构造叠加晕研究及预测，国家黄金局立项，组长：李惠，成员：张文华、王志远；金安公司立项，参加人员：杨志刚、侯晓虎、贺永利、刘军、王健民、梁斌祥、赵起来、鲍站立，2000～2001年。

（14）陕西东桐峪金矿区Q8、Q12、Q8501、Q14深部盲矿定位预测的构造叠加晕研究及预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：王志远、王永涛、司淑云、高巍、张强、陈静；陕西东桐峪金矿立项，参加人员：吕思强、赵宗勤、薛烨、邵建波、吴哲民、董华芳、贺志春、冯铁牛、潘志新、张大鹏，2001～2002年。

（15）山东蓬莱黑岚沟金矿区深部盲矿定位预测的构造叠加晕研究及预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：王志远、司淑云、方峰、刘娟；蓬莱黑岚沟金矿立项，参加人员：矿长：穆范

敏，王官义宁、郭淑庆、周子敬、宫秀文、徐永文等。2001～2002 年。

（16）山东蓬莱大柳行金矿区深部盲矿定位预测的构造叠加晕研究及预测，技术负责：李惠，组长：张文华，成员：王志远、司淑云、张强；蓬莱大柳行金矿立项，参加人员：曲宏海、段会升、张志堂、王会胜、杨春海，2003 年。

（17）山西省阳高县堡子湾金矿床构造叠加晕研究及深部盲矿预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：李绍波、司淑云、张强、史京锁；山西大同黄金矿业有限责任公司立项，参加人员：李峰、高洪兴、李思田、魏兴亮、姚华；顾问：周绍芝、刘凤歧，2001～2002 年。

（18）山西省阳高县九对沟金矿区深部含矿性的构造叠加晕预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：李德亮、禹斌、司淑云、张强、张国辉；山西大同黄金矿业有限责任公司立项，参加人员：李峰、高洪兴、李思田、魏兴亮、姚华；顾问：周绍芝、刘凤歧，2003 年。

（19）山西省阳高县九对沟金矿区深部进一步构造叠加晕预测及羊爪沟、石窑沟成矿预测，论证及技术负责：李惠，组长：禹斌，成员：李德亮、张强、司淑云、张立军；大同黄金矿业有限责任公司立项，参加人员：韩玉军、于彦春、高洪兴、李思田、魏兴亮、刘春辉；顾问：周绍芝、刘凤歧，2004 年。

（20）山西省灵丘县刁泉银铜矿床构造叠加晕研究及深部盲矿预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华，成员：李少波、王志远、禹斌、李德亮、张强、司淑云、张国辉；刁泉银铜矿公司立项，参加人员：张健、袁立红、胡建勇、陈有权、许建林。顾问：周绍芝，2003 年。

（21）河南三门峡召威金矿床构造叠加晕研究及深部盲矿预测，论证及技术负责：李惠，组长：李德亮，成员：禹斌、张强、司淑云、霍印峰；召威黄金矿业公司立项：吴启民、赵占武、李宗宝、卢军、杨新华；顾问：周绍芝，2003 年。

（22）辽宁五龙金矿本溪刘家金矿床构造叠加晕研究及深部盲矿预测，论证及技术负责：李惠，组长：张文华、李德亮，成员：李绍波、姚海龙、禹斌、张强、司淑云、张国辉；辽宁五龙金矿立项，参加人员：张福国、贺所明、刘铁侠、单发、肖国红、吴喜刚，2003～2005 年。

附 2：　　发表构造叠加晕有关专著及论文题目

出版构造叠加晕有关专著一部；发表论文 45 篇（国际上 5 篇、国内 40 篇），其中被国家中国科技文库、中科院文献中心等 30 余家选入重要科技文献论文有 11 篇，获学会、协会或学术研究学会优秀论文奖、特等奖、一等奖论文 15 次篇。

1. 专著——1 部

（1）大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型，李惠主编，冶金工业出版社，1998。

2. 国际学术会或刊物——4 篇

（1）IDEAL MODELS OF SUPERIMPOSED PRIMARY HALOS IN HYDROTHERMAL GOLD DEPOSITS, Li Hui Wang Zhinong, Journal of Geochemical Exploration 55（1995）329 ~ 326.

（2）THE MODEL OF GASEOUS AND IONIC HALOES OF INCLUSIONS IN GOLD DEPOSIT, Wang Zhinong Li Hui 30th International Geololgical Congress Beijing, China4 – 14 August 1996.

（3）IDEAL MODELS OF PRIMARY SUPERIMPOSED HALOS IN LARGE AND RICH GOLD DEPOSITS IN THE EAST OF SHANDONG.

Li Hui、Zheng Tao、Wang Zhinong, 30th International Geological Congress, Beijing, China 4 – 14 August 1996.

（4）Models of Construction Supermposedd Halos and Model of Gaseous and Ionic Halos of Inclusions for Prospecting Blind Ores in Zhaoyuan Gold Deposit Concensrative Region——Li Hui, Wang Zinong, Zhang Guoyi, Zhang Wenhua,. 中国金都招远国际金矿地质与勘查学术会 – International Symposium on Gold Geology and Exploration in Zhaoyuan, the Gold City of China China 17 – 21 April, 2002.

3. 国内刊物——42 篇

金矿化探：原生晕 – 原生叠加晕 – 构造叠加晕模型

（1）金矿盲矿预测的地球化学方法研究最新三项成果，李惠，冶金地质动态，1995.5，5 期。

（2）河南小秦岭杨砦峪金矿床叠加晕模式，李惠、王支农，黄金地质，1997.3，3 卷 1 期。

（3）THE MODEL OF GASEOUS AND IONIC HALOES OF INCLUSIONS IN GOLD DEPOSIT, Wang Zhinong, Li Hui and Yuan Yuexiao, 冶金工业部地质与矿产论文集：英文（p.148 ~ 152），北京：万国学术出版社，International Academic Publishers 1996.

（4）IDEAL MODELS OF PRIMARY SUPERIMPOSED HALOS IN LARGE AND RICH GOLD DEPOSITS IN THE EAST OF SHANDONG, Li Hui、Zheng Tao、Wang Zhinong and Yuan Yuexiao, 冶金工业部地质与矿产论文集：英文（p153 ~ 156），北京：万国学术出版社，International Academic Publishers 1996.

（5）胶东金矿带地球化学找矿模型，李惠、李富国，中国主要类型金矿找矿模型论文集（p.1 ~ 3），地质出版社，1996。

（6）热液金矿床的原生叠加晕理想模式，李惠、王支农、李富国，国家“八五”地质科技重要成果学术交流会论文选集（p331），冶金工业出版社，1996。

（7）金矿地球化学异常模式研究的新进展，李惠，97 优秀论文，地质与勘探，1997.2。

（8）中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列及其应用准则，李惠、张文华、刘宝林，地质与勘探，1999. 第 1 期。

（9）金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则，李惠、张文华、刘宝林、常凤池，地质与勘探，1996.6。

（10）山东乳山三甲金矿床的叠加晕模式，李惠、郑涛、汤磊、张文华、刘宝林，黄金地

质，1998.4。

（11）山东新城金矿床的叠加晕模式，李惠、张文华、刘宝林、李富国、王敬臣，地质找矿论丛，1998.1。

（12）山东招远灵山沟金矿床的叠加成矿成晕模式，李惠、王支农、张文华、李富国，桂林工学院学报，1998.2。

（13）山东乳山金青顶金矿床的叠加晕模式，李惠、张文华、郑涛、刘宝林、刘振昌，矿产与地质，1998.3。

（14）山东大尹格庄金矿床隐伏盲矿定位预测的叠加晕模式，李惠、郑涛、汤磊，有色金属矿产与勘查，1998.3。

（15）山东牟平邓格庄金矿床的叠加晕模式，李惠、刘振昌、刘宝林、李富国，黄金地质，1999.3。

（16）大型、特大金矿盲矿预测的原生叠加晕理想模型，李惠、张文华、常凤池，地质找矿论丛，1999年14卷第3期。该文在："第六届全国勘查地球化学学术会"上发言，1999.9，于张家界。该文又在：《中国地质学会在北京召开的"九五"全国地质科技重要成果交流会》上发言，2000.11.21。

（17）对山东金青顶金矿床原生叠加晕特征的跟踪研究及预测，李惠、刘振昌、王敬臣，地质找矿论丛，2000年第15卷，第2期。该文2000年11月20～22日，在中国地质学会召开的《"九五"全国地质科技重要成果交流会》上发言。

（18）金矿盲矿预测的原生晕轴向"反（向）分带"和地球化学参数轴向"转折"准则，李惠、张文华、常凤池、曲媛菲、左宏伟，桂林工学院学报，1999年19卷，第2期。

（19）金矿盲矿预测的原生晕轴向"反（向）分带"和地球化学参数轴向"转折"准则，李惠、张文华、常凤池，《第六届全国勘查地球化学学术讨论会论文选编》，地质出版社，2000年。

（20）山东乳山初家沟金矿床的原生叠加晕模式，李惠、刘振昌、王敬臣、高祥海、耿仙湖、王瑞腾、张洪山、张可海，黄金地质，2000年第6卷第2期。

（21）胶东大型金矿床的地球化学分带特征，李惠，贵金属地质，1999年4期。

（22）陕西双王金矿床的原生叠加晕模式，李惠、郑涛、汤磊、惠德峰、史敬海、吴建勋等，桂林工学院学报，2000年第4期。

（23）甘肃李坝金矿床盲矿定位、丛书的论文预测的叠加晕模式，李惠，黄金地质，2000年6卷第4期。

（24）金矿盲矿预测的构造叠加晕准则和效果，李惠、张国义、王支农，中国矿山地质论文（130～134页）主编：杨军臣、彭觥、汪贻水，中国地质学会，2002年。

（25）招远金矿集中区深部盲矿预测的构造叠加晕和包裹体气晕，离子晕模型，李惠、王支农、张国义，"中国金都招远国际金矿地质与勘查学术研讨会"论文集（中、英文）（100～105页），山东招金集团公司，普拉赛尔多姆（中国）公司，2002年。

（26）构造叠加晕及其在金矿区深部盲矿预测的效果，李惠、张国义、王支农、张文华。中国地质学会80周年文集（533～537页），地质出版社，2002年。

（27）金矿床（体）深部盲矿预测的构造叠加晕前、尾晕共存准则，李惠、王支农、上官义宁、赵宗勤、高洪兴，地质找矿论丛，2002年第17卷，第3期（195～197页）。

（28）构造叠加晕法在预测金矿区深部盲矿中的应用效果，李惠、张国义、王支农、张文华，物探与化探，2003年第6期（438～440页）。

（29）陕西东桐峪金矿深部盲矿预测的构造叠加晕模型，李惠、张文华、赵宗勤、邵建波、王志远，中金黄金股份有限公司学术年会论文集，2002年。

（30）山西堡子湾金矿床的构造叠加晕模型，李惠、张文华、高洪兴、刘凤歧、李绍波、李思田，中金黄金股份有限公司学术年会论文集，2002年。

（31）山西省堡子湾金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型，李惠、高洪兴、李思田、李绍波，地质找

矿论丛，2004 年 1 期（34～38 页）。

（32）小秦岭石英脉型金矿床深部盲矿预测的构造叠加晕模型，李惠、张文华、王支农、张国义、陈军胜、高延龙、贺永利、赵宗勤，中国地质学会地质勘查专业委员会四届一次学术会，矿产地质勘查论文集（133～137 页），国土资源部矿产资源储量司，2003 年。

（33）构造叠加晕在金矿区深部盲矿预测中取得了显著效果，李惠、张国义、王支农，2003 年国钢铁年会论文集（169～172 页），冶金工业出版社，2003 年。

（34）构造叠加晕在某些金矿区深部预测的效果，王支农、李惠、张国义、张文华，黄金，2003 年 2 期（10～12 页）。

（35）山西堡子湾金矿区构造叠加晕预测盲矿的效果，高洪兴、李惠，黄金，2004 年 1 期（15～17 页）。

（36）小秦岭石英脉型金矿床的构造叠加晕模式，李惠、张文华、王支农、张国义、陈军胜、高延龙、贺永利、赵宗勤，地质与勘探，2004 年，第 4 期（51～54 页）。

总结及综合性论文

（37）冶金矿区化探新方法、新技术研究十项成果，李惠、张国义、张连发，地质与勘探，已定稿 2005 年 5 期。

金矿包裹体的气晕、离子晕

（38）金矿包裹体地球化学特征及叠加晕模型，李惠、王支农，金矿地球物理地球化学勘查新方法论文集（120～127 页），中南工大出版社，1995。

（39）大型金矿盲矿的叠加晕和包裹体气晕、离子晕预测准则，李惠，贵金属地质，1996，5 卷 4 期。

金矿地球化学专家预测系统

（40）胶东金矿原生地球化学专家预测系统，李富国、李惠、王军芳、马久菊，国家“八五”地质科技重要成果学术会议论文集（270 页），冶金工业出版社，1996。

4. 被国家中国科技文库、中科院文献中心等 30 余家选入重要科技文献有 11 篇

（1）金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则，李惠、张文华、刘宝林、常凤池（原发表于“地质与勘探”1996.6），被 21 家文库转载并评为优秀成果论文特等奖或一等奖，如《中科学技术文库·信息产业卷》，《中国科技发展精典文库》等选载。

（2）大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕理想模型，李惠、张文华、常凤池（原发表于“地质找矿论丛”1999 年 14 卷第 3 期），①《中国建设发展五十年社科文献，中国市场经济论文大典》2002 年卷选载，中国跨世纪战备与管理丛书编辑工作部，北京：中国《桥》杂志社；②《中国矿山地质找矿与矿产经济》孙振家主编，长沙：中南大学出版社，2000 年，选载（66～74 页）；③《中国改革开放理论与实践》1999 年卷选载，济南：山东作家编制中心，中国社科文献编委会。

（3）山东牟平邓格庄金矿床的叠加晕模式，李惠、刘振昌、刘宝林、李富国（原发表于“黄金地质”，1999 年第 3 期），《中国改革开放理论与实践》2000 卷选载，济南：山东作家编创中心，中国社科文献编委会。

（4）山东乳山初家沟金矿床的原生叠加晕模式，李惠，刘振昌、王敬臣、高祥海、耿仙源、王瑞腾、张洪山、张可海（原发表于“黄金地质”2000 年第 6 卷第 2 期），《中国现代化建设研究文库》第一卷收录，2000 年，中国科学院文献情报中心，中外科技信息杂志社，中国现代化建设系列丛书编委会。

（5）胶东大型金矿床的地球化学分带特征，李惠（原发表于“贵金属地质”1999 年 4 期），《中国科教兴国战略文库 社会科学卷》2000 年选载，中国科技与人才开发中心。

（6）金矿地球化学异常模式研究的新进展，李惠（原发表于“地质与勘探 1997.2），《最新科技信

息评价》选载，并评为1998年度优秀论文，1998，中国生产力学会，科学技术生产力专业委员会。

（7）山西省堡子湾金矿床盲矿预测的构造叠加晕模型：李惠、高洪兴、李思田、李绍波（原发表于“地质找矿论丛”，2004年1期），《中国创新与发展研究文库》选入，中国管理科学院、中国管理科学学会，2004。

（8）山东招远灵山沟金矿床的叠加成矿成晕模式，李惠、王支农、张文华、李富国（原发表于“桂林工学院学报”1998.2），①《中国科教兴国战略文库·科学技术卷》2000年卷选载，中国科技与人才开发中心；②《中国科技发展精典文库》选载，中国科技报研究会，中国科技发展精典文库编辑部，2001年。

（9）山东金青顶金矿床的叠加晕模式，李惠、张文华、郑涛、刘宝林、刘振昌（原发表于“矿产与地质”，1998.3），《中国科技发展精典文库》2001年选载，中国科技报研究会，中国科技发展精典文库编委会。

（10）山东新城金矿床的叠加晕模式，李惠、张文华、刘宝林、李富国、王敬臣（原发表于“地质找矿论丛”1998.1），《中国科教兴国战略文库·科学技术卷》2001选载，中国科技与人才开发中心。

（11）山东乳山三甲金矿床的叠加晕模式，李惠、郑涛、汤磊、张文华、刘宝林（原发表于“黄金地质”1998.4），①《中国科技发展精典文库》2001选载，中国科技报研究会，中国科技发展精典文库编委会；②《中国矿山地质找矿与矿产经济》选登，中南大学出版社，2000年10月，并被中国地质学会、冶金地质学会、有色金属学会的矿山地质专委会及全国冶金地质信息网评为2000年优秀论文。

5.《金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则》被二十一家文库转载并评为优秀论文特等奖或一等奖

李惠等发表在“地质与勘探”1999年第6期（40～43页）的《金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则》一文被中国精典文库等21家出版社出版的专著转载，并被16家科技研究会编委、协会等评为特等奖或一等优秀论文：

（1）载入《中国科技发展精典文库》，中国科技报研究会、中国言实出版社，2001（发有著作证书）。

（2）载入《世界优秀学术论文（成果）文献》，世界学术成果研究院、北京世纪新东方人文学术研究院，2004。

（3）载入《中国创新发展研究文库－走在时代的最前沿》，评为首届“京华杯”全国创新学术与实践成果一等奖。中国人才信息交流协会、北京人力资源信息交流中心，2003。

（4）载入《前进的中国－中国理论发展与研究实践特辑》（ZG04－16－16B－A953），评为全国首届“人才杯”中国理论发展与研究实践优秀学术成果特等奖，中国人才资源建设开发科学研究院、北京天龙盛世文化艺术交流中心，2004。

（5）载入《“四新”理论创新与实践》，评为“新理论、新思路、新实践、新科技”理论创新与实践学术优秀论文特等奖，中国科技理论成果丛书编委会、四川西部经济文化发展研究院，2004。

（6）载入《中国现代优秀理论文集》，评为2004年优秀论文一等奖，中国现代理论发展丛书，2004。

（7）载入《中国专家学术成果通鉴》，评为“中国科学发展优秀论文学术成果一等奖”，中国纪录年鉴汇编委员会，2004。

（8）载入《中国当代思想宝库》（编号JDA260），发现杂志社，中国管理科学研究院，2003。

（9）载入《辉煌历程——新世纪的开拓者》论文（2004第026号），获“新世纪特殊贡献奖”，中国国际人文信息中心、辉煌历程系列丛书编委会、北京世纪中港文化发展中心。

（10）载入《中华全国理论创新奖》论文集，中华全国管理创新研究会，2003。

（11）《中国当代社科研究丛书》，2004年全国优秀论文一等奖，中国当代社科研究丛书编委会。

（12）被中国新经济研究中心、中国公共关系协会、北京当代前沿人力资源信息咨询中心评为2002～2004年优秀科研、学术成果特等奖（审字3802号）。

（13）被“世界华人文化研究中心、北京三联创新管理科学研究院2004年评为“国际优秀创新学术成果奖”，2004。

（14）载入《区域经济协调发展与全面建设小康社会》学术交流会论文集，评为一等奖，重庆人文经济文化发展研究院、中国人文科学与当代改革丛书编委会，2004。

（15）载入《学习实践“三个代表”优秀文选》，评为2004年度全国优秀论文学术成果特等奖，中国小康社会建设丛书编委会，2004。

（16）被“区域经济健康持续发展暨全面建设小康”学术研讨会评为一等奖，中国当代社科研究丛书编纂委员会，2004。

（17）载入《创新、实践、发展》一书，评为特等奖，中国西部经济文化探索丛书编委会，2003。

（18）“第二届特邀研究员暨优秀论文学术成果交流会”评为特等奖，中国西部经济社会发展研究院，2004。

（19）载入《中国西部科技》，被“区域经济协调发展与全面建设小康社会”学术研讨会评为一等奖，中国西部科技杂志社，2004。

（20）被“实践‘三个代表’与全面建设小康”学术研讨会评为特等奖，中国西部经济社会发展研究院，2004。

（21）“新世纪优秀社科论文奖”特等奖，中国科技理论成果丛书编委会、文化创新实践与人文理论成果办公室，2005。