分类号：P54
10710-0727037

长安大学

硕士学位论文

新城金矿构造控矿及矿体三维定位预测

董敏

导师姓名职称	杨兴科　教授		
申请学位级别	硕士	学科专业名称	构造地质学
论文提交日期	年　月　日	论文答辩日期	2010 年 5 月 20 日
学位授予单位	长安大学		
答辩委员会主席	杜玉良		
学位论文评阅人	焦建刚　郭涛		

Y1729497

Structue of ore-controlling and steroprediction of Orebody location of Xincheng Gold depsit

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Dong Min

Supervisor: Prof. Yang Xingke

Chang'an University, Xi'an, China

论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下,独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：董飞跃　　2010年6月3日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

论文作者签名：董飞跃　　2010年6月3日

导师签名：杨兴科　　2010年6月3日

摘 要

新城金矿是上世纪七十年代胶东地区发现的特大型“焦家式”金矿床之一。矿区地质勘探工作侧重于开发和生产，而对矿区的综合地质，构造控矿规律等重要地质问题的研究较为停滞，导致新城金矿逐渐成为资源中度危机矿山。矿区勘探开发以竖井和坑道工程为主，且新城金矿主体部分为隐伏型矿床，因此充分利用已有地表和地下成矿信息，采用新技术、方法开展深部和外围构造控矿和矿体定位预测研究较为紧迫。

论文以野外地质观测和矿区资料收集为基础，依托于山东玲珑矿田和新城金矿预测新技术、新方法示范项目，综合分析新城金矿的成矿背景、地质特征、控矿构造规律和矿体产出特征，然后利用 Surpac 软件建立三维矿体模型，并进而探讨了其矿体定位规律，最终进行成矿预测。取得如下认识：

1.焦家断裂以及次级断裂共同构成了矿区的控矿断裂系统。矿床赋存于主断裂面下盘的玲珑花岗岩体。焦家断裂是成矿流体运移通道，也是成矿流体汇聚场所；主断裂面呈现出波状起伏特点，使成矿的有利部位分布具有波状相间的似等距分布特点；断裂破碎强度大、主断裂面产状、形态变化部位和断裂分枝交汇部位、次级断裂以及密集节理带中，矿化富集。主断裂在成矿期表现为右行剪切作用为主，并形成了有利矿化的强破碎带、伴生次级断裂及密集节理带向南西侧伏，从而控制矿体的侧伏规律。焦家断裂，经历多次构造活动的叠加，断裂构造岩发育，断裂带内岩石破碎强度大，孔隙度大，成矿流体可在其中渗流，形成构造蚀变岩型金矿床，蚀变带总是沿着主断裂面呈带状展布。

2.本文主要选择矿区 111’～195’勘探线以及-10m～-630m 中段标高的范围内地质数据 1034 个，在 Surpac 软件中，建立新城矿区地质数据库，构建基于钻孔数据的矿体实体模型，断裂模型。利用品位数据建立块体模型，在此基础上，采用地质统计法和距离幂次反比法进行品位估值和储量计算。

3.在三维矿体模型的基础上结合矿体产出规律，采用趋势外推法和类比法，对新城金矿Ⅰ、Ⅴ号矿体三维定位预测，分别圈定了预测靶区。Ⅰ号矿体预测靶区位于Ⅰ号矿体深部南西侧伏向下延部分，主要分布区域为：水平范围在 111’～147’勘探线之间，垂向标高在-500m～-900m 内，矿体形态呈薄板状。Ⅴ号矿脉群预测靶区位于Ⅴ号矿脉群南西侧伏的延深部位，主要分布区域为：水平范围在 147’～171’勘探线之间，垂向标高在-700m～-1000m，侧伏角 45° 左右，距Ⅰ号矿体垂直距离 85m，与Ⅰ号矿体相平行。

关键词：新城金矿，构造控矿，矿体三维建模，三维定位预测

Structue of ore-controlling and steroprediction of Orebody location of Xincheng Gold depsit

Abstract

Gold deopists in Xincheng are one of the largest gold deposits in 70s of tha last century in China, which is "Jiaojia Type" gold deposits in Northwestern Shandong Province. The geological explration work focused on the development and production, however, the comprehensive geological studies of the mining, the ore controlling factors' researh developed slowly, which gradually caused the middle degree crisis mines. Prospecting and exploration of the mining areas are controlled by shaft project, and main part of orebodys are concealed ore deposits. Therefore we urgent need to make full use of existing ground and underground mine forming information, new technology, new methods to develop structure and study of the steroprediction of orebody location in depth and outlying.

Basing on the geological field observations and exploring-mining documentation and relying on the Shandong Linglong gold ore field and Xincheng gold deposit technologies and new methods demonstration project, the paper analysed comprehensively geological characteristics, ore-controlling structures and ore output rule of its ore body positionning, and then used Surpac software to create 3D-model of the orebody, studied orebody distribution regularities, and prospected the most advantageous targets for new bodies. Specific studies are summarized as follows:

1.Jiaojia fault and secondary faults constitute the ore mining area fault system. The mined ore bodies are hosted in the altered Linglong granite which located on the footwall of the Jiaojia fault. Jiaojia fault is the ore-forming fluid migration channels, but also a ore-forming fluid gathering place.The main fault have wavy features, so that distribution of mineralization in the favorable positions may offset disribution like wave. The intensity of faults and fracture , the main occurrence of the fracture, position of changes and fracture intersection branch location, secondary faults and dense joints zone, which are mineralization. The main fault were formed by Dextral shear movement , and formed a strong favorable mineralized fracture zone, secondary faults and dense joints are pitch to EW, which controled the pitching derection of orebodies. Jiaojia fracture experienced the superposition of several tectonic activity. They are rich in fractural tectonites and the intensity of rock fragmentations in fracture zone, ore-forming fluid are transfusion among them, forming structural

altered-rock type gold deposit, the altered-rock occurres along the interface of Jiaojia fracture.

2.In this paper, we choosed mine 111'～195' prospection line and -10m～-630m level', and 1034 geology data. The use of software Surpac established geological database of Xincheng gold deposit, construsting 3D-modeling of orebodies based on drill hole data, and fracture model. Meanwhil, we have adopted geology statistics law and Inverse Distance Weighted Method in the estimation of ore body's grade and reserves of mine resources.

3.Through three-dimensional position forecast, summarizing up the outputs rules, we used application of trend extending method, which realized the steroprediction of No. Ⅰ and No. Ⅴorebodies location respectively. No. Ⅰtarget prediction group pitch NE in the deepth of No. Ⅰ orebody, main distribution area are: the level of 111'～147' prospection line and vertical: -10m～-630m level, and ore body was thin plate shaped. No. Ⅴtarget prediction group pitch NE in the deepth of No.Ⅴ, main distribution area are: the level of 147'～171' prospection line and vertical: -700m～-1000m level, pitch angle about 45° . The vertical distance from the ore body No. Ⅰis 85m, and is paralleled No. Ⅰ.

Key words: Xincheng gold deposit,Structure ore-controlling, 3-D modeling of orebodys, steroprediction of orebody location

目 录

第一章 绪 论 **1**

1.1 选题目的及意义 1
1.2 国内外研究现状 2
1.3 研究区交通位置、自然地理概况 3
1.4 研究区前人工作及成果 4
1.4.1 以往区域地质矿产工作 4
1.4.2 以往矿产勘查和地质找矿勘探工作 4
1.4.3 以往地质科研工作 5
1.5 完成工作量 6
1.5.1 硕士期间完成工作量 6
1.5.2 论文完成工作量 6

第二章 区域地质背景 **8**

2.1 地层特征及其含矿性 8
2.1.1 地层特征 8
2.1.2 胶东群变质岩系与金成矿的物质联系 10
2.2 岩浆岩特征及其与成矿的联系 10
2.2.1 花岗质岩浆岩特征 10
2.2.2 花岗质岩浆岩与成矿的联系 11
2.3 区域构造与金矿带空间展布 12
2.3.1 区域构造 12
2.3.2 区域构造与金矿带空间展布 13
2.4 区域矿产及金矿化类型 14
2.4.1 区域矿产 14
2.4.2 金矿化类型 14

第三章 矿床地质特征 **16**

3.1 矿区地质 16
3.1.1 地层 16
3.1.2 岩浆岩 17
3.1.3 构造 19
3.2 矿床地质特征 21
3.3 矿体特征 22
3.4 矿石特征 22
3.4.1 矿石矿物成分 22
3.4.2 矿石的化学成分 24
3.4.3 矿石的结构和构造 25
3.4.4 矿石类型 25
3.5 围岩蚀变 25
3.5.1 围岩蚀变类型 25
3.5.2 矿化蚀变带地质特征 26
3.5.3 成矿阶段划分 28

第四章 断裂构造控矿规律研究 **29**
4.1 断裂构造特征 29
4.1.1 断裂构造基本特征 29
4.1.2 断裂构造变形特征 30
4.1.3 断裂的变形分析及其演化 32
4.2 断裂控矿规律 33
4.2.1 断裂对成矿元素分布的控制 33
4.2.2 断裂对矿体空间分布的控制 33
4.2.3 断裂对矿化局部富集的控制 34
4.2.4 断裂对矿体形态、产状的控制 39
4.2.5 断裂对矿化类型的控制 40
4.2.6 断裂对围岩蚀变的控制 40
第五章 新城矿体三维模型 **43**
5.1 矿体形态及空间关系 43
5.2 三维建模资料收集 44
5.3 Surpac 软件基本功能 44
5.3.1 Surpac 软件概述 44
5.3.2 .三维图形系统 45
5.3.3 主要功能模块 45
5.4 新城矿体三维立体模型的建立 46
5.4.1 新城矿区地质数据的建立 46
5.4.2 新城矿体实体模型的建立 50
5.4.3 新城矿体品位模型的建立 53
第六章 矿体定位预测 **60**
6.1 矿体产出规律 60
6.1.1 矿体的一般产出特征 60
6.2.2 矿体侧伏特征 62
6.2.3 矿体垂向上的变化特征 64
6.2.4 矿体的似等距性分布 65
6.2.5 矿体赋存规律及找矿方向 65
6.2 矿体定位预测原则和方法 66
6.3 矿体定位预测靶区 67
6.3.1 定位预测靶区的圈定 67
6.3.2 定位预测靶区特征 68
结 论 **72**
参考文献 **74**
致谢 **81**

第一章 绪 论

1.1 选题目的及意义

新城金矿是我国上世纪七十年代发现的特大型金矿床之一。1971 年山东省地矿局地质六队在勘探焦家金矿时发现了新城金矿Ⅰ号矿体，在 1974 年—1979 年进行矿区地质普查和地质勘探工作，投入钻探 106 孔，于 1979 年提交了《山东省掖县焦家金矿带新城矿区详细勘探地质报告》。1979 年至 1980 年新城矿区继续施工深部远景控制钻孔 5 个，其中见矿孔 3 个，并于 1987 年提交《山东省掖县焦家金矿带新城矿区详细勘探补充地质报告》，1988 年至 1994 年，冶金部 515 队对Ⅴ号矿脉群进行详查，提交了《山东省莱州市新城金矿Ⅴ号矿体详查地质报告》。1994 年以后主要进行新城金矿的化学原生晕方法的应用，物探勘查研究，进入到矿床勘探和开发阶段。截止目前，新城金矿尚未开展过整体的、系统的、深入的综合性地质研究，成矿模式、控矿规律等研究基本停留在上世纪 80 年代提交的勘探报告水平。多年缺乏地质科学和找矿预测研究，因而，使得一些急需解决的重要地质问题长期得不到解决，致使矿山接替资源缺乏。新城金矿矿山尚可服务 7 年，属于资源中度危机矿山[1]，因此，进一步加强矿山地质探矿工作，寻找新的资源，成为新城矿区的当务之急，需要充分利用已有的地表和地下成矿信息，新技术、新方法开展深边部控矿构造和找矿研究，推断深边部矿床和矿体地质特征，进行矿体的三维显示，实现矿床的空间定位预测，提高矿山开发效率。

本论文以《山东玲珑矿田和新城金矿预测新技术、新方法示范研究》项目为基础，该项目受国家自然科学基金项目（40972061）、危机矿山新技术方法示范项目（200799095）支持，论文对该区进行构造控矿规律及矿体三维定位预测研究。

(1) 从平面构造分析发展为空间构造解析，研究新城金矿断裂构造控制矿脉延伸、倾斜、侧伏和斜列的规律，总结构造控矿规律，为矿体三维定位预测提供地质依据。

(2) 研究三维建模技术，利用大型矿山工程软件 Surpac，建立矿体三维模型，实现Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿体的三维立体显示，以及矿体和焦家断裂的空间分布关系。

(3) 研究三维定位预测的理论方法，将矿体的侧伏、斜列的规律，结合断裂控矿规律和品位模型等地质依据，采用趋势面外推法，分析预测新城金矿矿体的三维展布规律，扩大新的找矿空间。

本次研究成果是建立在研究构造控矿规律的基础上，进行矿体模型上的三维定位预测，突破传统的二维平面预测，实现真三维可视化显示、三维地质体重建、三维地质空

间分析的研究和应用。该研究不仅可以推动新城金矿成矿预测，促进新城金矿的深部找矿工作，而且对具有矿山勘探开发程度高、地质勘探与矿山生产原始资料积累充分、评价与找矿向深边部三度空间发展特点的胶东其它地区和我国的一些重要成矿区带的找矿工作有借鉴意义。

1.2 国内外研究现状

矿产预测作为贯穿矿产勘查全过程中的一项重要的应用性工作，自20世纪70年代以来在矿产普查与勘探领域内已得到高度的重视及推广。20世纪90年代以来，随着找矿难度的不断加大以及我国众多生产矿山保有储量的日益枯竭，成为不同程度的危机矿山，急需对矿山的深边部三度空间控矿构造和成矿预测的新技术、新方法的研究。

矿体是有用元素在岩石圈演化过程中高度富集的结果，是在一定构造条件下各种地质作用的综合产物。地质构造对矿体的形成、改造及保存具有重要作用。在进行成矿预测时，控矿构造是预测的基本地质准则。控矿构造规律研究，有助于揭示金矿床形成机理、矿化富集和工业矿体定位规律[2]。构造是新城矿区最重要的控矿因素、是成矿的前提条件，研究构造控矿规律是进行成矿预测和提高找矿效果的基础和关键。本文在构造控矿规律研究基础上，进一步实现矿体三维定位预测。

国际上自上世纪50年代开始着手三维矿体定位预测，期间国外众多的专家、学者针对三维矿体定位预测理论及方法给予了极大的关注和较多的讨论：如1993年美国国家研究委员会提出的《固体地球科学及社会》中明确提出“正确描述和模拟成矿过程、并提高预测可能位置的能力，应是21世纪地学发展的主要方向”；1993年美国的“丹佛会议”上，众多学者认为未来矿产勘探的成功取决于综合因素，首先是预测区选区的准确性，取决于成矿理论和预测方法的创新与发展；在技术方法上，倡导发展3S（GIS、GPS和RS）技术，用于提高宏观找矿靶区定位预测的准确度和可靠性；前苏联在20世纪90年代初先后提出“系统勘查”、“局部预测”、“立体填图”、“目标预测”和“预测普查组合”等新的思路及方法。

我国在上世纪六十代开始三维矿体定位预测研究，期间经历了早期的实验探索和应用阶段，大体在20世纪80年代前的30年，我国数学地质蓬勃发展，开展定量预测，在全国开展成矿远景区划工作。自20世纪80年代至90年代初，矿产预测工作在全世界发展起来，计算机科学与技术在地质上得到广泛的应用，研究开发了矿产预测的多种实用软件，并开展立体填图、立体预测，在实际工作中积累了一套矿产预测的理论和圈定预测远景区的实用原则，达到了矿产预测评价高速发展时期。自20世纪90年代至今，

矿产预测中应用高新技术和地理信息技术 GIS，实现全面数字化、数据库化、自动化和网络化，应用矿床体各类数据和矿床的地球物理、地球化学及遥感特征，分析主要矿产的成矿地质条件，建立矿床体的三维立体模型，实现矿床体观察的三维可视化，这已成为当前矿床定位预测发展的趋势。我国矿产预测领域不仅与世界同步进入数字化、数据库化和网络化的发展阶段，而且在三维可视化领域中也开拓出探索新的途径。

近年来，国内外成矿预测理论的新进展、勘探方法技术的多样化和计算机技术的应用在矿产普查与勘探中的新突破，为新城金矿矿体三维定位研究提供了方法和技术条件。

1.3 研究区交通位置、自然地理概况

焦家金矿带新城矿区位于莱州东北 35km 处。矿区地理座标：东经 120° 07′ 30″—120° 09′ 15″；北纬 37° 25′ 45″.00—37° 27′ 00″，面积 3.9km^2，属莱州市金城镇管辖。

矿区距莱州市 35 公里，有烟台—潍坊 206 公路国道穿过矿区、文登—三山岛公路从矿区南侧通过。往北东 30 公里可达龙口港；往南西 134 公里直达潍坊火车站，交通方便（图 1-1）。

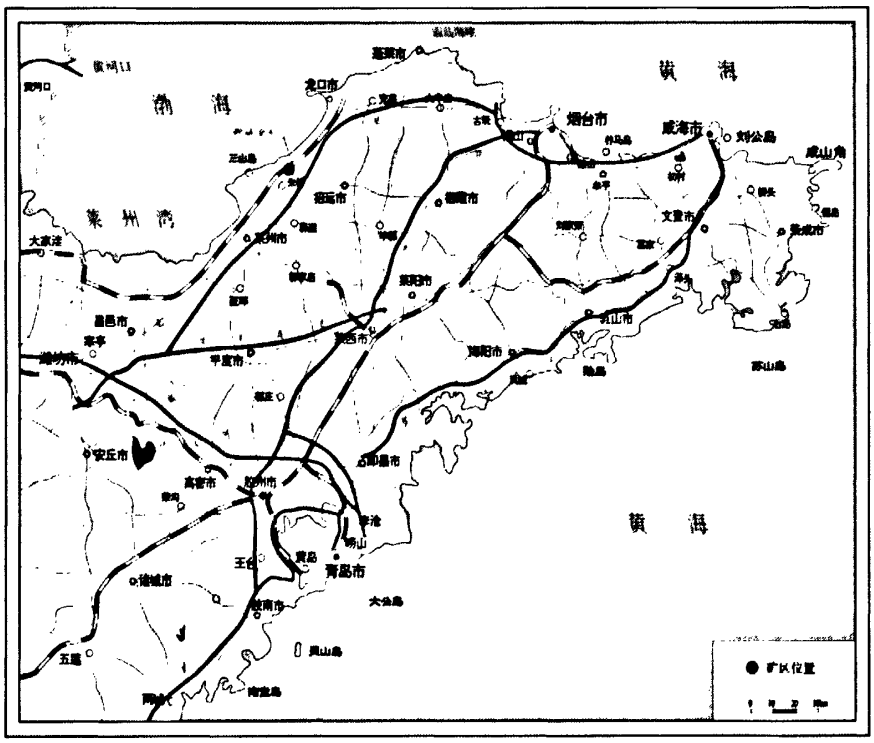


图 1-1 矿区交通位置图

矿区内地势平坦，地形起伏很小，属于沿海平原，为地质勘探工作和矿山开发提供

很较好的条件，但同时也表现出许多的不足，如矿区勘查评价和勘探开发均为竖井工程控制，许多工作都需要在地下一定深度完成，造成矿体和矿床主要为隐伏矿床，因此控矿构造和三维定位预测就尤显重要。

区内气候温和，年平均气温 12.4° C，属温暖带季风区大陆性半湿润气候，四季分明，年降雨量 600-700 毫米。矿区北部约 37 公里有龙口电厂，矿区东部有一处专门为矿山生产、生活供电的 11 万伏变电站。矿区水源能满足生产和生活用水需要。

矿区周围大、中型矿山密布，有焦家、河东、河西、望儿山、红布、马塘等矿山，采金业发达，已成为招远地区的经济支柱。区内农业生产以种植业为主，主要农作物有小麦、玉米、花生等。工业以农业机械制造、农副产品和海产品加工业为主，近海捕捞及海产品养殖业发达。

1.4 研究区前人工作及成果

新城金矿床自勘探评价以来，其成因类型上归属于胶西北“焦家式”金矿床类型。自上世纪 70 年代初期以来，矿区的地质勘探工作一直在不断进行，期间，国家和企业投入了大量勘探工程和巨额资金，对矿床地质和矿体特征等进行了较详细地勘查评价，获得了可观的地质储量。

1.4.1 以往区域地质矿产工作

区内新一轮 1:20 万、1:5 万区域地质调查工作已经完成，为研究该区的地质条件和控矿因素提供了基础地质资料。区内已完成 1:20 万航磁、重力、水系沉积物测量和重砂测量、化探扫面工作，进行了 1:5 万重砂测量、1:5 万化探测量和 1:5 万综合物探包括磁法、电法、重力、γ 能谱的工作。以往的工作成果为基础地质研究以及普查找矿提供了大量综合信息，利用物化探综合信息，深化该区地质认识，提高找矿效率，有利于圈定有利矿体聚集区，进行矿产预测的研究。

1.4.2 以往矿产勘查和地质找矿勘探工作

区内的以往矿产勘查和地质找矿勘探工作包括以下五个阶段：

第一阶段：1969 年-1972 年，山东省地矿局地质六队，对焦家金矿进行普查勘探的同时发现了新城金矿 I 号矿体，并于 1971 年提交焦家矿区勘探报告时，提交新城金矿 C2 级金储量 3.5 吨，没有继续进行评价工作。

第二阶段：1974 年又开展金矿地质工作，截止 1979 年 9 月，历经 5 年的地质普查

勘探工作，这期间，开展了1:1万和1:2千两种比例尺的地质测量。采用焦家金矿工业指标试算测得D级金储量23.79吨，初步确定新城金矿是具有工业价值的大型金矿床。并于1979年提交了《山东省掖县焦家金矿带新城矿区详细勘探地质报告》，施工钻孔94个。投入钻探工作量25492.14米，探获B+C+D级矿石量8603216t，金属量，71.0170t，伴生银98.87t，伴生铜4987.04t，伴生硫29.82×10^4t。

第三阶段：1979年9月-1987年12月，采用稀疏钻孔为手段，投入工作量3425.32m，探获新增D级表内金储量2496.58kg，伴生银3.687t，伴生铜713t，伴生硫5100t。并于1987年12月提交了《山东省掖县焦家金矿带新城矿区详细勘探补充地质报告》。

第四阶段：1987年12月-1988年10月冶金部515队，在-230～-430m补充地质勘探工作，完成钻探工作量 12663.65m/33 个，对Ⅰ号矿体重新进行了储量计算，获得B+C+D级矿石量8544867t，金金属量61295kg，伴生银金属量84.518t，伴生硫标矿量731106t。对Ⅴ号盲矿体进行控制，获得D+E级矿石量260万t,金金属量20173kg。提交了《山东省莱州市新城金矿（-230～-430m区段储量）补充勘探地质报告》。

第五阶段：1988年10月-1994年11月，冶金部515队对Ⅴ号矿体进行详查，完成钻探工作量 15014.07m/20 个,获得 C+D 级矿石量 3072633t，金金属量 25739kg,伴生银17.145t。提交了《山东省莱州市新城金矿Ⅴ号矿体详查地质报告》。

1994年至今，矿区工作主要有原冶金部地球物理勘查院物化探研究所开展了《山东新城金矿床的叠加晕的理想模型及深部盲矿定位预测》工作，于1998年5月提交研究成果报告；“中石化地质矿山总局”河南地质勘探院物探分院，2003年11月提交了《新城金矿区-380m 水平运输巷道物探勘查研究报告》，报告根据激电异常的分布规律，认为河西断裂是招远市河西金矿控矿断裂，其深部穿过新城金矿区，并推测出位于河西断裂上盘呈斜列式展布的3条隐伏金矿化带和3条隐伏矿化蚀变带的位置，为该区深部找矿提供了依据。

1.4.3 以往地质科研工作

区内先后完成的科研报告有《山东省掖县北部地区焦家式金矿成矿地质条件及找矿方向研究报告》、《山东省胶东地区焦家式金矿成矿规律及找矿方向研究报告》、《山东省胶东西北部焦家成矿带1:2.5万成矿预测报告》、《山东省胶东地区大中型金矿成矿规律及找矿方向研究》、《山东省焦家成矿带深部大比例尺金矿成矿预测》、《山东省莱州金城金矿外围及深部综合地球物理方法探查隐伏矿的定位预测研究》，这些科研成果在成矿

地质条件、控矿因素、成矿规律、矿床成因、成矿时代及新技术方法的应用等方面实施了多方位探讨和研究。本文综合上述利用科研成果，总结新城金矿控矿构造规律，实现矿体三维定位预测，应用到深边部控矿构造和找矿预测。

1.5 完成工作量

1.5.1 硕士期间完成工作量

硕士期间，参加过相关实习实践环节和项目，包括有三项，第一项《山东玲珑矿田和新城金矿预测新技术方法示范研究》，本项目受国家自然科学基金项目（40972061）和危机矿山新技术方法示范项目（200799095）支持。第二项《长江中下游基底结构与导矿—控矿要素研究》，该项目是中国地质调查局下达的国土资源大调查增量项目，工作项目编码：1212010813051，本人于2009年7月-8月在杨兴科教授指导下，在巢湖参加了野外教学实习1个半月，并在地调项目支持下，对安徽，江西，江苏西北和浙江西北部等地进行路线地质野外调研，路线长度合计265km，室内主要完成长江中下游区域1:75万构造岩相综合编图和长江中下游地区基底和盖层的相关研究。第三项《新疆哈密市西凤山金矿区构造原生晕研究》，于2009年3月3日至3月23日，到哈密矿区进行野外样品采集，室内利用化探原生晕方法进行矿产预测。

1.5.2 论文完成工作量

论文依托《山东玲珑矿田和新城金矿预测新技术方法示范研究》项目，本人于2008年7月—2009年5月，三次到胶东地区的新城矿区。玲珑矿区和三山岛矿区进行野外工作和资料收集，本次论文主要研究新城金矿构造控矿规律及矿体三维定位预测。

（1）野外工作时间：2008年7月7日到7月28日，野外调研共21天。2009年1月10日到1月17日，共7天。2009年5月5日到5月25日，共20天。合计48天。

（2）样品采集：2008年7月野外采集样品7件；2009年5月采集野外样品8件。合计15件。

（3）图件收集：勘探线剖面图27张，从147勘探线到193勘探的AutoCAD格式的图件；无品位中段平面图35张，从-10米中段平面图到-630米中段平面图的AutoCAD格式的图件；矿体水平投影图3张，Ⅰ号矿体水平投影图，V-1-1号矿体水平投影图，V-1-2号矿体水平投影图的MapGIS格式的图件；新城地质图2张，新城1:2000地质图，新城1:5000地质图的MapGIS格式的图件。

（4）Surpac 实验室工作量：在新城金矿矿区的 Surpac 实验室，对矿体的钻孔数据进行 Surpac 数据格式的转换，并进行数据录入，建立新城金矿的地质数据库。

（5）控矿规律研究：断裂构造特征及断裂控矿规律研究，总结断裂与成矿元素分布、矿体空间分布、矿化局部富集、矿体形态、产状、矿化类型和围岩蚀变的关系。

（6）三维建模：建立基于钻孔数据的三维矿体模型，进行地质统计分析，得出矿体的品位柱状图及品位报告；运用距离幂次反比法建立矿体品位块体模型，进行储量计算，得到储量报告。

（7）矿体定位预测：通过矿体的定位规律研究，以矿区的勘探线剖面图、中段平面图和纵投影平面图为基础实现矿体三维定位预测。利用 Surpac 软件，采用趋势外推法结合新城金矿断裂控矿的地质因素，尝试对矿体三维模型进行矿体三维定位预测。

（8）资料整理：阅读基础矿床学、矿床学、区域成矿学等教材课本；胶东地区“焦家式”金矿相关文献 20 篇、新城金矿文献 20 篇和玲珑金矿文献 10 篇；阅读生产报告 4 本；学位论文 4 本；胶东地区相关专著 6 本。

（9）成果整理与论文撰写：新城金矿的构造控矿规律研究，Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群的三维建模，矿体定位规律研究成果的整理，学位论文的撰写。

表 1-1 论文研究主要工作量统计表

工作项目	工作量	说明
野外工作	论文区 60 天+其它项目 45 天，合计 105 天	与项目组成员共同完成
样品采集	合计 15 件	与项目组成员共同完成
图件收集	27 张勘探线剖面图，35 张中段平面图，3 张纵投影图，2 张新城地质图	与项目组成员共同完成
Surpac 实验室	新城金矿地质数据库	与新城 Surpac 实验室技术人员共同完成
控矿规律研究	焦家断裂控矿规律研究	独立完成
三维建模	矿体三维实体模型、块体模型、品位估算和储量计算	独立完成
矿体定位预测	矿体三维定位预测	独立完成
资料整理	文献资料共计 70 余篇	独立完成
成果整理与论文撰写	4 幅 Mapgis 格式的地质图 利用 Surpac 软件建立新城地质数据库 实现Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群的 2 个实体模型，1 个断层实体模型及断层趋势面图 2 个块体模型，品位估值和储量计算 预测靶区 2 个，并完成预测靶区的实体模型 完成学位论文撰写 论文中包括 33 幅图，20 个表	独立完成

第二章 区域地质背景

研究区位于胶东地盾胶北隆起带西缘，栖霞复背斜构造北翼，沂沭断裂东侧次级构造，黄县—掖县断裂带上，属于著名的招远—掖县金矿带焦家金矿田的组成部分。招—掖金矿带西临长期活动的沂沭断裂，东邻太平洋板块，向南与胶莱盆地与胶南隆起相对应。区域内广泛出露地层是太古宙胶东群，古元古宙粉子山群和新元古宙蓬莱群围绕着胶东群有少量的出露，其次还有侏罗系、白垩系零星分布；构造活动频繁，总体上表现为在东西构造的基础上叠加北东、北北东及北西向构造；不同成因不同期次的岩浆活动形成的花岗岩广泛分布，局部脉岩成群出现。下图 2-1 为新城金矿区域地质图。

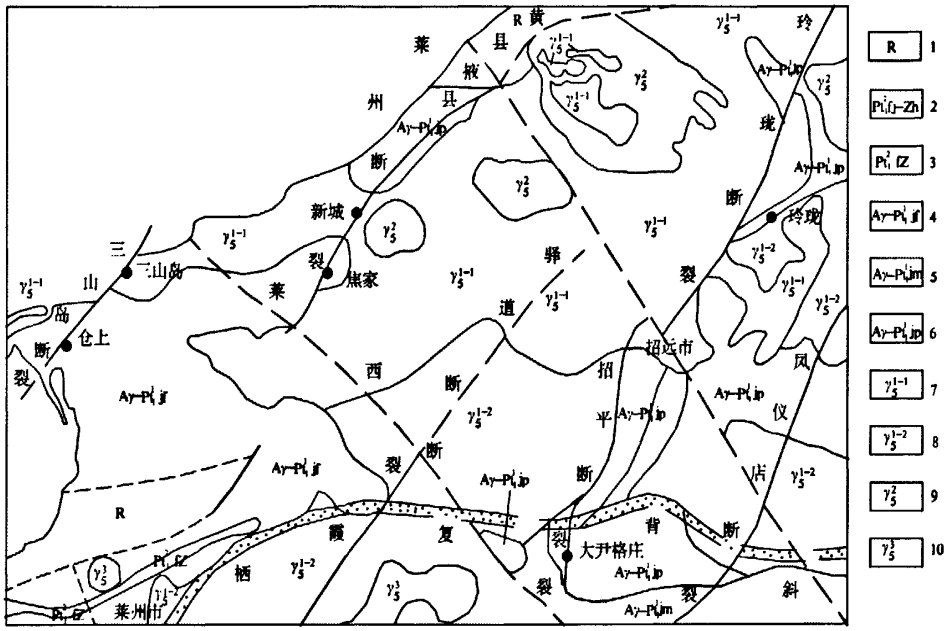


图 2-1 新城金矿区域地质图

1. 第三系 2. 粉子山群巨屯—张格庄组 3. 粉子山群祝家夼组 4. 胶东群富阳组
5. 胶东群民山组 6. 胶东群蓬夼组 7. 玲珑型黑云母花岗岩 8. 滦家河型中粗粒黑云母花岗岩
9. 郭家岭型似斑状花岗闪长岩 10. 花岗岩类（新城矿区详查报告）

2.1 地层特征及其含矿性

2.1.1 地层特征

区内基底地层为下元古—太古界胶东群变质岩，下元古界粉子山群及上元古界蓬莱群，其中的胶东群为区内主要出露地层。其上为新生界第三系陆相含煤油页岩，碎屑岩及第四系滨海相沉积。地层从老至新概述如下：

（一）下元古界—太古界胶东群变质岩（Ar—Pt_1jf）

地层分布广泛，主要沿栖霞复式褶皱轴部及两翼出露，分为三个组：富阳组、民山

组和蓬夼组。胶东群变质岩地层主要为一套泥砂碎屑岩夹有泥质岩、铁镁碳酸盐和中基性—中酸性火山岩建造。根据沈阳地质研究所余汉茂（1983 年）锆石 U-Pb 法测年得到的年龄为 2675 百万年[3]。

胶东群地层普遍经受了较强烈的区域变质作用，特别是埋深变质作用，形成了不同的变质建造[4]。据王孔海等（1988 年）对胶东群地层原岩进行恢复后认为，其原岩建造下部蓬夼组基本上为一套中基性—基性火山岩系，局部夹陆源碎屑沉积岩，其火山岩系列与现代岛弧环境中的火山岩有相似之处，而蛇纹角闪岩中橄榄石的假流动构造特征表明原岩中可能有科马提岩的存在，向上至中部的民山组过渡为中酸性火山岩和凝灰岩，底部有正常陆源碎屑沉积岩和化学沉积岩，至上部富阳组转变为以陆源碎屑沉积岩为主，在富阳组的下部可见到英安质火山岩以及基性火山岩透镜体。因此，太古宙胶东群的原岩是一套由中基性—基性火山岩、中酸性火山岩以及正常沉积岩构成的完整的火山喷发沉积岩系，具有多旋回演化的特点。根据胶东群地层的岩石类型、化学成分及原岩恢复表明，其下部的中基性—基性火山岩产于的环境类似于现代岛弧环境中的火山岩，并可能存在科马提岩的成分，因此胶东群的下部地层具有蛇岩带的性质，但由于胶东群受到强烈的变质作用改造，变质火山岩及科马提岩不能完整地保存，故该区绿岩带已难于对比。

（二）下元古界粉子山群（Pt_1f）

下元古界地层分布于粉子山和山张家一带。粉子山群的主要岩石类型为，片岩、大理岩、石英岩、变粒岩及斜长角闪岩，属于中级变质岩角闪岩相的产物，局部受轻微的混合岩化作用。粉子山群的原岩类型主要以海相沉积物为主，下部为碎屑岩建造，中部为碳酸盐岩建造，上部为粘土岩建造。出露两个组：巨屯—张各庄组和祝家夼组。

（三）上元古界蓬莱群（Pt_3p）

蓬莱群地层在该区内分布不广，仅在栖霞、陡崖一带出露较全，在黄县凤凰山亦有出露。该地层主要有滨海相—浅海相复理石建造及碳酸盐建造。岩石类型主要是千枚岩、板岩、石英岩、大理岩及结晶灰岩。与下伏粉子山群地层呈不整合接触。

（四）新生界地层

1.第三系(R):分布于黄县、掖县的北部。受断陷盆地控制，有一套紫色含砾长石砂砾岩夹泥岩、含砾硬砂岩夹有紫灰色含砾粘土质砂岩、泥灰岩、碳质页岩、油页岩及褐煤组成，属于陆相含煤油页岩碎屑岩建造。

2.第四系（Q）：由陆相及滨海相沉积物组成。陆相沉积物主要有砂岩、砂砾岩、含

粘土砂石层组成，滨海相沉积物由滨海相中细砂组成。

2.1.2 胶东群变质岩系与金成矿的物质联系

胶东群变质岩普遍金丰度值较高。据山东省地矿局地质六队资料综合整理，胶东群变质岩含金丰度值为 19.51×10^{-9}，为地壳岩石含金丰度值的 5 倍。其中富阳组平均含金丰度值 9.77×10^{-9}，民山组 13.69×10^{-9}，蓬夼组 30.52×10^{-9}，高于地壳同类岩石金丰度克拉克值的 3—9 倍，各组及含金丰度值见表 2-1。

表 2-1 胶东群变质岩中金的平均含量

地层与岩石	样品数	金平均含量(10^{-9})
胶东群	97	19.51
富阳组	15	9.77
民山组	45	13.69
蓬夼组	37	30.52
斜长角闪岩	30	24.45
变粒岩	14	37.30
片麻岩	17	13.27
片岩	14	7.56

(引自新城矿区详查报告)

综上所述，胶东群变质岩系与金矿成矿有密切关系，胶东群变质岩是胶东地区金初始矿源层，为金矿床的形成提供了大部分和主要的成矿物质。

2.2 岩浆岩特征及其与成矿的联系

区内岩浆岩很发育。据前人调研结果将本区岩浆岩划分为三种类型：即玲珑型黑云母花岗岩、郭家岭型似斑状花岗闪长岩、滦家河型中粗粒花岗岩。

2.2.1 花岗质岩浆岩特征

岩浆岩主要分布于沂沭断裂以东，栖霞复背斜核部。走向呈北东东转北东向，呈“厂”字型分布，受东西向构造带控制。与胶东群、粉子山群地层呈渐变过渡，侵入或断层接触，呈岩基产出。

1.玲珑黑云母花岗岩

主要分布在招远北部和西部、掖县—平度一带及三山岛，在黄县及蓬莱有零星出露。玲珑黑云母花岗岩总体呈北东向展布，以岩基形式产出，包括玲珑岩体、南天门岩体、华山岩体、三山岛岩体等。岩石类型包括粗粒及中粗粒片麻状花岗岩、中粒及中细粒片麻状花岗岩和细粒片麻状花岗岩。岩体与胶东群地层一般为渐变过渡接触，局部见侵入接触。

2.郭家岭似斑状花岗闪长岩

主要分布在郭家岭至黄山馆一带，以岩株形式产出，有物探及钻孔资料表明，在深部可能为统一的大岩基。郭家岭似斑状花岗闪长岩总体排列近东西向，包括郭家岭岩体、上庄岩体、南截岩体、北截岩体等。岩体与胶东群为渐变过渡关系，与玲珑岩体成过渡关系，可见侵入到玲珑片麻岩状花岗岩体。

3.滦家河中粗粒花岗岩

主要分布在招远市中西部及掖县东部。滦家河中粗粒花岗岩，总体成近东西向展布，包括滦家河岩体、毕郭岩体、招贤岩体、郭家店岩体等。岩石类型主要为粗粒或中细粒黑云母花岗岩、含黑云母钾长花岗岩、钾长花岗岩。岩体与胶东群地层呈明显的侵入接触关系。

2.2.2 花岗质岩浆岩与成矿的联系

根据山东冶金三队一九八四年科研报告：玲珑黑云母花岗岩主成岩时代为燕山期，K—Ar 法同位素等时线年龄值为 122—187.8Ma；郭家岭似斑状花岗闪长岩主成岩时期为中生代燕山期，K—Ar 法同位素年龄值为 111.8—154.4 Ma；滦家河花岗岩 K—Ar 法同位素年龄值为 124 Ma。综合研究认为：玲珑黑云母花岗岩、郭家岭似斑状花岗岩生成于燕山期，为区域混合岩化交代成因的花岗岩，局部地段有选择性重熔，两者在燕山期普遍经历了断裂混合岩化与断裂重熔叠加改造作用。滦家河花岗岩以断裂混合岩化及其混合岩化与重熔岩浆岩侵入双重改造。根据武汉地院曹兴男等，招远黄金公司宫润潭《河西金矿控矿断裂及矿体预测》一文中测试的花岗岩含金丰度值，玲珑黑云母花岗岩为 4.5×10^{-9}，郭家岭似斑状花岗闪长岩 6.07×10^{-9}，滦家河花岗岩 0.75×10^{-9}，数值表明胶东地区花岗岩含金丰度值较高。

表 2-2 胶东矿集区花岗岩同位素年龄

矿床/带	测试对象	方法	年龄*（Ma）和 Isr	数据出处
招掖带	玲珑花岗岩	铷锶	156；Isr=0.7095	李华芹等，1993
招掖带	玲珑花岗岩	钾氩	153±（n=14，I）	李华芹等，1993
招掖带	玲珑花岗岩	氩氩	164±I(P)	Qiu et al.,2002
招掖带	郭家岭花岗岩	铷锶	154；Isr=0.7103	李华芹等，1993
招掖带	郭家岭花岗岩	钾氩	150（n=12，I）	李华芹等，1993
招掖带	郭家岭花岗岩	氩氩	135±2(P)	Qiu et al.,2002
招掖带	滦家河花岗岩	氩氩	155±2(P)	Qiu et al.,2002

注：括号内的 P 和 I 分别表示年龄和坪年龄和等时线年龄，数字表示样品数；
个别数据进行了四舍五入处理。（转引自陈衍景，2004）

中生代花岗岩类的铷锶、钾氩、氩氩等方法测年的结果在 135Ma—156Ma 之间，形成

于燕山期。玲珑花岗岩铷锶测年 Isr 值和郭家岭花岗岩铷锶测年 Isr 均大于 0.709，指示花岗岩浆主要源于地壳物质的部分熔融或重熔。

曹新志等(2004 年)认为该区的成矿作用的发生与成岩演化是相辅相成的统一过程，元古代大面积的混合岩化作用以及花岗岩化使得胶东群地层中的金等成矿元素发生活化迁移，在玲珑片麻状花岗岩及郭家岭似斑状花岗闪长岩形成的同时金得到初步富集，继而直至中生代强烈的重熔作用以及与此伴生的热液交代作用使金等成矿物质由重熔中心的高能带向外接触带的低能带迁移，形成了一定范围内（0—6km）的有利构造部位富集成矿。

2.3 区域构造与金矿带空间展布

区域构造以基底东西向栖霞复背斜构造为主体，位于区域中部。断裂尤其发育，主要为一系列的北东、北北东向发育的断裂，其中区域性断裂有 3 条，自西向东依次为，三山岛断裂、黄县—掖县断裂和招远—平度断裂。区域构造是区内的主要导矿控矿构造，控制着金矿带及其矿田的空间展布。

2.3.1 区域构造

（一）东西向构造

基底以古老的东西向栖霞复背斜及与之相伴生的断裂，组成东西向构造带。栖霞复背斜处于胶北隆起带，轴部东起栖霞市—唐家泊一带，往西经招远道头到掖县，倾没于安丘东、公山一带，东西长约 34 公里，南北宽约 14 公里。复背斜西端向南西偏转，东端向北东偏转，与区域西侧的沂沭断裂的扭动运动有关（曹新志等，2004 年），褶皱轴部由胶东群及混合花岗岩组成，胶东群中发育一些小褶皱。复背斜轴部为紧密线性复式褶皱，轴面向南陡倾。由于受到强烈的混合岩化及花岗岩化作用，其北翼由栖霞市至栖霞蛇窝沟为上覆的中生代地层所掩盖，因此褶皱形态不太明显。

（二）北西向构造

北西向断裂总体走向 300°—320° 为压扭性断裂，主要有栖霞—唐家泊子断裂和莱西断裂，这些断裂起源于元古代，中生代燕山期活动较为强烈。这些构造是本区主要的地震活动带。

（三）北北东向断裂

为一系列呈北东 18°—25° 的压扭性构造。这些构造大致平行近等距分布，主要有：沂沭深大断裂及次一级玲珑断裂，滦家河断裂、凤仪店—上庄断裂。这些断裂的规模大，

连续性好，形成了一系列构造岩包括糜棱岩和碎裂岩，并具有强硅化蚀变的特征。

（四）S 形构造

为北东向压扭性构造。与同序次的北北东向构造依附牵就早期东西向构造，最终呈弧形展布。S 形构造不仅控制区域上的岩浆岩分布，也是该区金的主要导矿控矿构造。主要有三山岛断裂、黄县—掖县断裂、招—平断裂。这些 S 形构造与其低序次的伴生构造构成胶西北金矿集中区。

1.三山岛断裂：位于招—掖金矿带的西侧，走向北东 40°，倾向南东，倾角 35°—48°，长 11 公里，宽 50—200 米；呈不规则带状，沿走向呈舒缓波状，沿着花岗岩与胶东群地层接触带展布。在其断裂上主要赋存有三山岛和仓上金矿床。

2.黄—掖断裂：位于黄县—掖县间，南起掖县主桥，北至黄县石良集，走向 35°—55°，倾向北西，倾角 30°—45°。断裂长 70 余公里，宽几十至几百米。沿走向、倾向呈舒缓波状。沿花岗岩体与胶东群地层接触带发育。与其平行产出的次级断裂，望儿山断裂、侯家断裂、河西断裂组成了帚状构造体系，是焦家金矿田和新城金矿的主要导矿容矿构造。

3.招—平断裂：位于招远城北至平度范格庄一带。长百余公里，宽 150—200 米。走向北东 20°—40°，倾向南东，倾角 30°—45°。沿玲珑岩体主要与胶东群，仅南段勾山水库到南墅与粉子山群的接触带发育。主断裂面呈舒缓波状，局部倾角较陡。是玲珑金矿田主要的导矿容矿构造。玲珑金矿田在北段，南段还包括大尹各庄、夏甸等大型金矿床

S 形断裂构造，由于长期活动及多期次热液活动，常产生一系列构造岩包括糜棱岩、碎裂岩及蚀变岩。

2.3.2 区域构造与金矿带空间展布

栖霞复背斜使招—掖金矿带呈东西向带状展布，其次北东走向的区域性 S 形断裂是成矿的导矿构造，三山岛断裂控制着三山岛金矿田，黄—掖县断裂控制着焦家—新城金矿田，招—平断裂控制着玲珑—九曲金矿田的空间展布，并且一系列金矿床包括大型、超大型矿床均沿断裂呈串珠状分布。区域构造使得金成矿带呈现出“东西呈带，北东呈珠”的空间展布特征，因此，区域构造不仅是金成矿的重要条件，而且直接控制着金矿带、金矿田的空间展布，如图 2-2 所示。

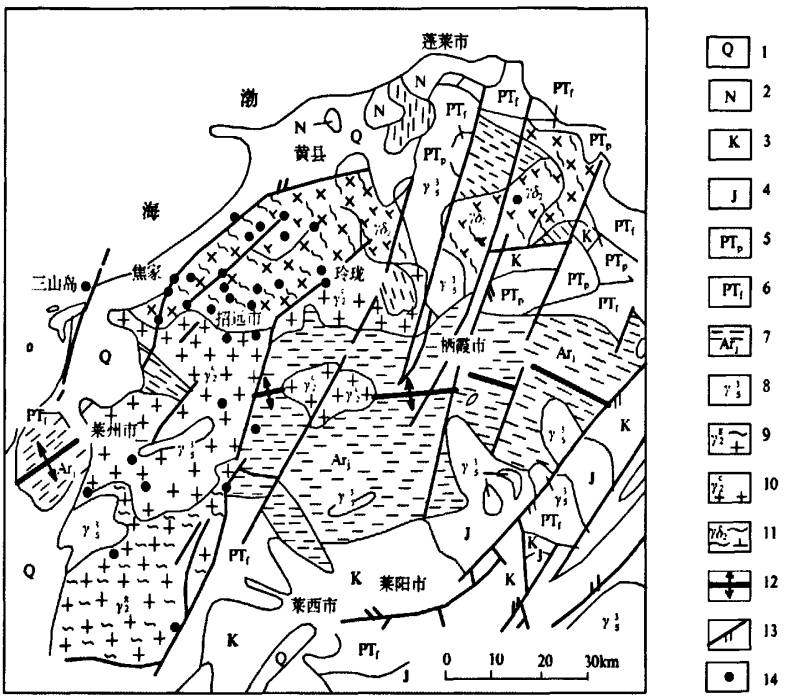


图 2-2 胶西北区域地质略图

（据山东第六地质大队资料改编，2004）

1. 第四系；2. 新第三系；3. 白垩系；4. 侏罗系；5. 新元古宙粉子山群；7. 太古宙胶东群；
8. 燕山晚期花岗岩；9. 玲珑片麻状混合花岗岩；10. 滦家河中粗粒花岗岩；
11. 郭家岭似斑状花岗闪长岩；12. 栖霞复背斜；13. 压扭性断裂；14. 金矿床

2.4 区域矿产及金矿化类型

2.4.1 区域矿产

区内矿产以金为主，其次为银金、银、铅、锌、多金属矿。该区是我国重要的黄金生产基地，产出有著名的新城、焦家、三山岛、玲珑等大型、超大型金矿床，以及一系列小型金矿床。还产有石英、石材、滑石、菱镁矿、煤等非金属矿产。

2.4.2 金矿化类型

区内的金矿化类型主要有三种，即为含金石英脉型金矿（玲珑式）、破碎蚀变岩型金矿（焦家式）以及两者的过渡类型金矿（灵山沟式）。玲珑式金矿床与焦家式金矿床的矿化特征对比见表 2-3。灵山式金矿床的矿化特征兼具玲珑式和焦家式的特征，其上部较多表现出玲珑式矿化的特征，而下部则多表现为焦家式矿化特征，在两者之间为渐变过渡关系，该类型的金矿床以灵山沟金矿床和望儿山金矿床为典型代表。

表 2-3 玲珑式、焦家式金矿床成矿特征对比

矿床类型		玲珑式	焦家式
矿体特征	形态、产状	脉状、脉群、走向北东东向，倾向北西，个别走向为北北东，倾角普遍较陡	薄板状、透镜状，走向北东或北北东，倾向南东或北西，主矿体倾角普遍较缓，一般 30°—40°
	连续性、规模	断续出现，脉群规模大，但单条矿脉规模小	较连续稳定，延深、延长较大，规模大
围岩蚀变	蚀变类型	绢英岩化为主，红化、黄铁绢英岩化次之	黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、红化
	强度、宽度分布	弱，几厘米至机密，最宽可达 20m 以矿脉为中心对称分布	强，几十米至几百米不等 断裂下盘比上盘发育
矿石特征	矿石矿物	以银金矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿为主，还有磁黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿、镜铁矿	以银金矿、黄铁矿、黄铜矿为主，还有方铅矿、闪锌矿、菱铁矿
	脉石矿物	石英为主，此为绢云母、长石、方解石	钾长石、石英、绢云母、绿泥石等
	结构、构造	自形、半自形粒状结构为主，块状、脉状、网脉状构造	半自形、他形粒状结构为主，浸染状、细脉状、网脉状构造
成矿方式		充填结晶作用为主	渗滤交代作用为主
控矿构造		矿脉受北东东、北东脆性张剪断裂控制，倾角较陡，一般为 70°—80°	矿体受韧—脆性叠加断裂控制，倾角较缓，一般为 30°—40°
典型实例		玲珑九曲	焦家金矿、新城金矿

第三章 矿床地质特征

3.1 矿区地质

矿区处于莱州湾滨海平原。地表多被第四系覆盖，基岩为岩浆岩类，下元古界—太古界胶东群变质岩在岩浆岩中呈残留体出现，分布零星。

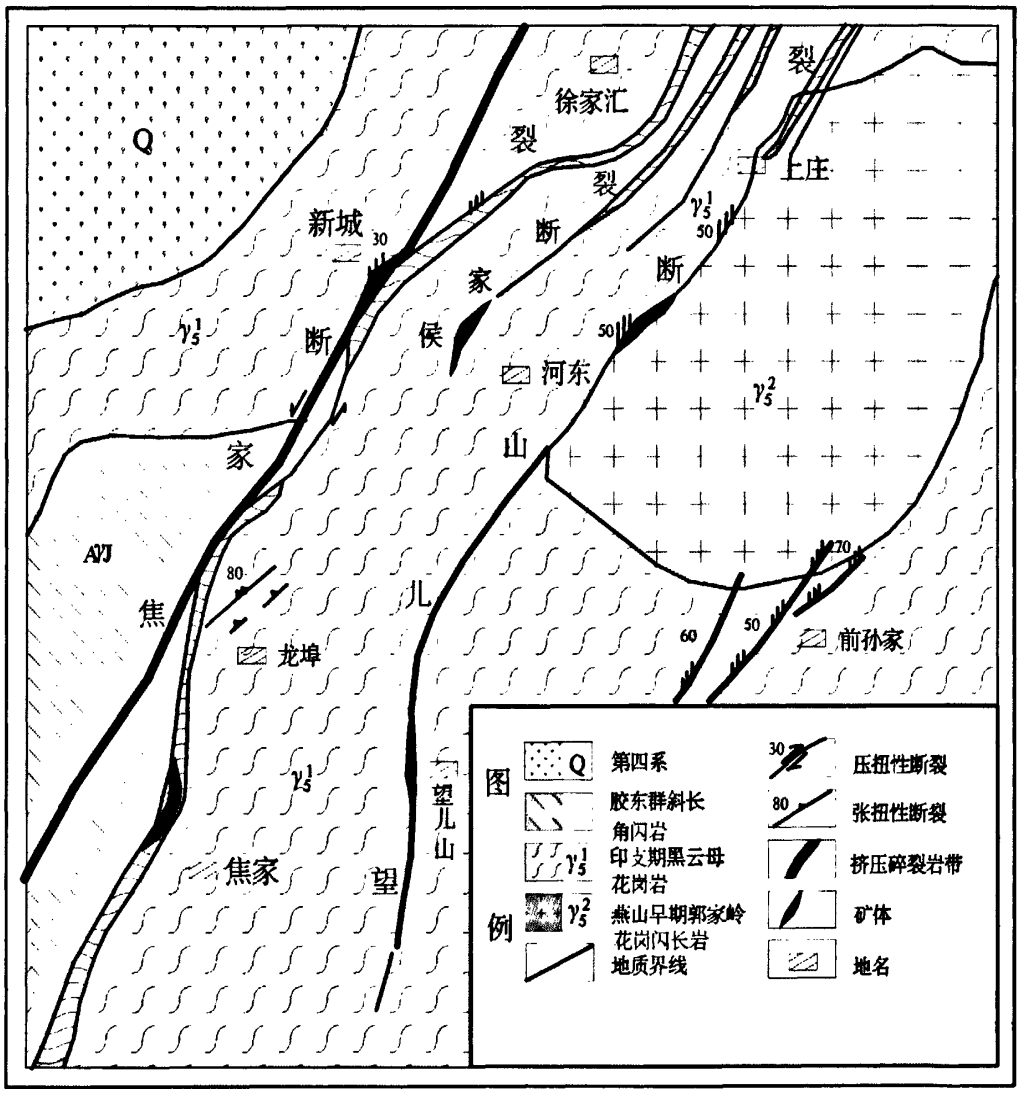


图 3-1 新城金矿区地质略图

3.1.1 地层

矿区内出露地层比较简单，除第四系以外，只有胶东群富阳组地层出露。第四系在矿区内分布广泛，其厚度由南东向北西逐渐增大，一般 3—8 米，最厚达 20 米以上。胶东群富阳组分布在矿区的南西部，95 勘探线以南的地区，在 95 勘探线以北的黑云母花

岗岩体中，多呈小捕虏体出现，矿区内可见到条纹条带状混合岩化斜长角闪岩。

1.新生界第四系（Q）：主要为砂质粘土、含砾石的砂质粘土、砂及砾石组成。

2.太古界—下元古界胶东群富阳组（Ar—Pt_1jf）：岩性为条纹带状混合岩化斜长角闪岩。呈花岗变晶结构，局部鳞片花岗变晶结构，条纹条带状构造及斑杂状构造。矿物成分主要有角闪石、斜长石、石英、黑云母等。岩石的混合岩化作用强烈，长英质脉体顺层贯入后，形成明显的条纹状或条带状。

3.1.2 岩浆岩

矿区内岩浆岩有花岗闪长岩体和黑云母花岗岩体，另有少量的脉岩分布。

1.花岗闪长岩体（γ_5^2）：在矿区内呈小岩枝状分布于焦家断裂带的下盘，出露宽度一般约为 50 米，最宽处达到 100 米，长 1900 米，除位于矿区中部的界限清楚，两端界限都不清晰。根据新城金矿的钻探结果验证，此岩枝为上庄岩体的一部分，其与围岩呈侵入接触及断层接触。花岗闪长岩体的成因，岩石的结构、构造、原生共结斑晶，流动构造接触关系等方面来看，都显示出岩浆成因的特征。岩石的硫同位素测定结果见表 3-1，δs^{34} 值为+10，比较稳定，变化区间不大，表明岩浆成因的特征。同位素地质年龄数值 145Ma—174Ma（新城矿区测年，1979 年）。钾氩法测年花岗闪长岩脉的年龄 101Ma、94Ma、82Ma（Wang et al.，1992 年）。

表 3-1 硫同位素测定结果表（新城矿区详查报告）

矿物名称	编号	δs^{34}‰	S^{32}/S^{34}
脉状黄铁矿	S_6	+10.1	21.989
自形—半自形黄铁矿	S_9	+10.7	21.984
黄铜矿	S_{10}	+10.5	21.988

①岩性特征：矿区内仅见到似斑状花岗闪长岩，岩石为淡灰—浅灰白色，似斑状结构，基质为半自形粒状结构，交代结构不发育，块状构造。斑晶占 5—10%，主要为具环带构造的斜长石及少量的钾长石、角闪石。斑晶大小不等，在岩体内部一般较大，约为 4×6 厘米，边缘较小，约为 0.4×0.9 厘米，基质占 90—95%，主要为半自形粒状斜长石（40%）。其次有钾长石（占 15—20%）、他形粒状石英（20%）。暗色矿物有普通角闪石（5—8%，有绿泥石化）、黑云母（3—8%，有绿泥石化），暗色矿物有时被绿帘石交代，其分布多无规律。副矿物多呈包体分布，如榍石切面多呈菱形、楔子形包于斜长石、石英、角闪石、黑云母等矿物中。副矿物除榍石外（占 1—2%），其次有褐帘石、磷灰石、磁铁矿、锆石等，其中榍石局部有白钛石化。

②岩体与成矿的关系：岩体与金矿床的形成有密切的联系，在整个矿化蚀变带中，

常常可见较正常的未受或受轻微蚀变的花岗闪长岩残留体，说明蚀变岩石的原岩是似斑状花岗闪长岩，常分布于主断裂下盘的蚀变岩中；另外，经过新城金矿的钻探数据证明，矿体下盘为单一的似斑状花岗闪长岩，在主断裂面的下盘成矿，成矿物质即是来源于下盘的似斑状花岗闪长岩。

从区域上看，凡是岩体呈较大规模的大岩基出露的地区由于剥蚀深，则不利于金的富集；若是呈小岩枝或小岩基出露或者剥蚀较浅，则有利于金的富集，形成规模较大的金矿床。在时间上，成矿作用发生在岩体形成后和派生的中基性脉岩发育之前的时间里，为岩浆期后矿床。在空间上，金矿床多位于岩体的顶部和内外接触带中，即为岩体的边部较易于富集成矿。

2.黑云母花岗岩体（γ_5^1）：岩体在矿区内分布广泛，主要分布在焦家断裂带的上盘及矿区东部，其与胶东群地层呈侵入接触关系，局部呈过渡关系。

岩性特征为：为淡灰白色及淡肉红色，半自形粒状花岗结构，花岗变晶结构。镜下常见蜊虫结构、缝合线结构、交代残余结构、包含结构。块状构造，局部有片麻状构造。矿物成分以半自形粒状的微斜条纹长石为主（占35—45%），其次为斜长石（25%）、石英（25—30%），暗色矿物有黑云母（5%，具绿泥石化），其分布常具有定向性。副矿物含量低，其中有锆石（1—2%）、磁铁矿、磷灰石、褐帘石等。

表3-2 新城矿区岩浆岩岩石化学成分表（新城矿区详查报告）

岩石类型岩 / 石化学成分（%）	似斑状花岗闪长岩	黑云母花岗岩
SiO_2	63.74	71.28
TiO_2	0.41	0.17
Fe_2O_3	2.33	1.43
CaO	3.19	2.09
MgO	0.99	0.18
P_2O_5	0.15	0.04
MnO	0.05	0.04
K_2O	4.61	3.7
Na_2O	4.4	4.6
CO_2	1.18	0.14
$Al2O_3$	16.23	15
SO_2	0.11	0.02
H_2O-	0.28	0.26
H_2O	0.93	0.67
LOS	1.8	0.37

岩石具有发育的交代作用和残余结构，根据石英包裹体的测温资料（新城矿区实验室测定，1979 年），其形成温度为 240° C—350° C，显然低于岩浆成因的岩石的成岩

温度，故而显示了混合岩化花岗岩的特征，因此该岩石的成因，与混合岩化作用有一定关系。花岗闪长岩体和黑云母花岗岩体的岩石化学成分是有差别见表 3-2，说明二者是为不同源的岩浆。

3.脉岩：矿区内的脉岩不多，主要为伟晶岩，其次为石英闪长玢岩、闪斜煌斑岩、石英脉。石英脉分布于区内的中部和东北部，宽 2 米左右，长 15—20 米。其余的三种脉岩如表 3-3 所示。

表 3-3 脉岩类型特征表

岩性类型	出露位置	岩性主要宏观特征	岩性主要微观特征及其年龄特征
伟晶岩脉	主要见于焦家断裂带主断裂面的下盘，在坑道中常可见到，地表未出露，其多呈不规则状分布，脉状露头较少	肉红色及淡灰白色，伟晶结构，块状构造	钾长石、斜长石、石英及少量的黑云母。伟晶岩脉，钾氩测年年龄为 132Ma、124Ma、117Ma、102Ma（Wang et al.，1992）
石英闪长玢岩脉	分布于区内东北部，新城金矿钻孔的岩芯中偶有所见	灰白色，变余斑状结构，基质为显微他形粒状结构	斑晶占 35%，主要有斜长石、角闪石、黑云母、石英等，其中斜长石占斑晶 60%以上，具有明显的环带构造，可见聚片双晶和肖钠双晶，为中长石。石英为圆粒状，沿边部有轻微的被溶蚀现象，呈现港湾状。角闪石和黑云母分别被绿泥石和碳酸盐交代。基质占 65%，主要为显微他形粒状斜长石，其次有显微他形粒状石英，斜长石和石英约占 85—90%，另外尚见有叶片状黑云母、柱状角闪石、粒状榍石等
闪斜煌斑岩脉	分布于区内南部，其走向近南北向，一般出露宽 1 米左右，长 140—340 米	黑绿色，变余斑状结构，基质为显微半自形粒状结构，块状构造	主要有角闪石、黑云母；基质占 65%，主要有斜长石、角闪石、黑云母、绿泥石、绿帘石、磷灰石、榍石等。其中斑晶中以角闪石为主，约占斑晶的 70%，基质以斜长石为主，约占基质的 70%以上

3.1.3 构造

矿区内北东向压扭性断裂发育，主要是焦家断裂带，其次是其下盘伴生、派生的不同级别、不同序次的断裂包括望儿山断裂、侯家断裂等。断裂走向一般为 10°—40°，倾向北西，倾角 26°—50°，局部较陡，约 70°，沿走向及倾向，断裂呈舒缓波状展布。

3.1.3.1 焦家断裂带

1.黄县—掖县断裂带

沿着招远、掖县北部、黄县南部的低山丘陵区与平原的过渡带展布，长约 60 公里，南起掖县朱桥，北经黄山馆转为北东东及东西走向延至黄县石良集，构成向北西凸起的弧形。断裂带南段发育在胶东群地层中，北段切割花岗闪长岩体和黑云母花岗岩体，局部沿岩体与胶东群地层接触带伸展。南段走向 30°—40°，倾向北西，倾角 29°—43°；北段为北倾，倾角 30°—45°。焦家断裂带宽 80—200 米，发育有连续的主断裂面和一套完整的构造岩带。新城金矿床赋存于黄县—掖县断裂带的北东走向的地段，该地段是断裂的主要控矿段，通常称为焦家断裂带。

2.焦家断裂带性质

焦家断裂带是由焦家主干断裂与其派生的次一级断裂组成。在平面上构成向北东交汇的“入”字型构造，焦家主干断裂的倾角一般为 30°—45°，次级断裂的倾角较陡，有些可达到 70°左右，所以在剖面生呈现出倒“入”字型。其他低序次级别的控矿断裂也多呈“入”字型，故而构成了焦家成矿带控矿断裂的“入”字型构造型式。焦家断裂带从其成生发展阶段的挤压扭动的空间排列、擦痕、擦线、阶步和矿体的南西向侧伏，结合空间组合规律等综合分析，断裂的性质、应力，在成生发展阶段为压扭性质，在成矿阶段又呈现出上盘斜落的张扭性质，表现为先压后张。尽管经过反复多次的活动，但还是表现了一个压扭性断层的性质[7]。

3.焦家断裂带特征

焦家断裂带长 20 余公里，宽 100—200 米，走向 40°左右，倾向北西，倾角 26°—30°，局部较陡，可达 70°左右。断裂带为一宽大的碎裂岩、花岗质碎裂岩等组成的破碎带，沿断裂发育有 10—20 厘米厚的灰黑色及灰白色断层泥，连续稳定，局部有小褶皱，显示出压扭性断裂的性质。碎裂岩、花岗质碎裂岩在主裂面的上下盘多呈对称带状分布，与上盘相比，下盘较为发育，金矿体主要赋存在主断裂的下盘，储矿地段的构造岩由于成矿热水溶液的作用，产生蚀变和矿化，形成了矿化蚀变构造岩带。

4.焦家断裂带与成矿的关系

焦家断裂带的发生发展过程，严格地控制了金矿床矿化阶段及其赋存规律。

1）区域上，东西向构造对金矿床具有一级控制意义。当焦家断裂带与东西向构造带相交时，使得本来挤压紧密的断裂带较易在两端张裂开来，形成整体封闭条件下的局部裂开的地段，这些裂开的地段对金矿热液的运移和扩散起到了构造圈闭的作用，因此，在这些部位形成金矿的富集，而相邻部位只有蚀变和轻微的矿化而不成矿。

2）焦家断裂带的主干断裂与其派生的分支断裂组成的“入”字型断裂交汇处，也

是成矿的有利地段，由于“入”字型断裂均处于焦家断裂带主断裂面的下盘，故金矿床严格地赋存于主断裂面的下盘。

3）断裂带向上下盘的凸起较大的区段，矿液容易在此进行聚集，因此，也就在这些区段富集成矿。

3.1.3.2 望儿山断裂带

望儿山断裂带与焦家断裂带在朱宋交汇，长 10 余公里，宽 20—120 米，走向、倾向与焦家断裂带相近，倾角 45°—60° 左右。沿走向转折拐弯及控矿的局部地段与焦家断裂带有明显的对应关系。断裂带中的构造岩特征与焦家断裂带一致，仅在发育程度及规模上略有差异。

3.1.3.3 侯家断裂

侯家断裂分布于焦家断裂和望儿山断裂之间，为次一级断裂，走向 40°，倾向北西，倾角 30°—45°，延伸达 15km，宽 20—40m 不等，膨缩现象明显，主要由碎裂岩组成，断层泥不发育，无明显构造主断面，该断裂在西端与主断裂交汇。

3.2 矿床地质特征

新城金矿矿床地质条件比较简单，矿体赋存于焦家断裂带中。焦家断裂带上盘是黑云母花岗岩，断裂带下盘为似斑状花岗闪长岩。

矿床的主要控矿构造为焦家断裂带，并且沿着断裂带中心向两侧的岩石蚀变程度依次减弱。蚀变岩石由黑云母花岗岩和似斑状花岗闪长岩经历多期构造活动和热液蚀变作用叠加而发生的绢云母化—绿泥石化—硅化—黄铁矿化—碳酸盐化，形成的蚀变花岗质构造岩。焦家断裂带中心为蚀变较强的黄铁绢英质碎裂岩，其上盘为绢英岩化花岗质碎裂岩、绢英岩化花岗岩和黑云母花岗岩。其下盘为黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗闪长岩，以及似斑状花岗闪长岩。地表及浅部岩石蚀变和矿化一般都较弱，由浅往深矿化和蚀变增强，并且蚀变带变宽，一般为 80—230 米左右，走向 40°，倾向北西，倾角 30°，与焦家断裂带主干断裂的产状一致，因此矿体赋存在蚀变带之中。

该区矿床主要有两组的容矿构造：一组为北北东组构造，走向 10°—30°，倾向北西，倾角 60°—70°，其中充填黄铁矿、石英和少量的碳酸盐，成为有利的金矿富集场所。另一组为北东东组构造，走向 65°—85°，倾向北西，倾角 55°—80°，其中充填了黄铁矿、石英等，有时可形成脉幅宽 0.2—0.5 米的黄铁矿石英脉，形成了金富集的主要场所。

3.3 矿体特征

新城金矿床内，已探明 18 个金矿体，这些矿体主要分布在 135—195 勘探线和+26—-739 米标高的含矿蚀变破碎带。矿体主要产出在主断裂面下盘由走向北东 40° 转向北东 55° 的拐弯部位及其低序次节理裂隙中。已探明的金储量主要集中Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群中，其他均为小矿体。各矿体平行近等距展布，并具有明显的南西侧伏的特征。

Ⅰ号矿体为矿区内最主要的矿体，地表矿体出露长 120 米，分布在 147—185 勘探线之间，平均长度 330 米，矿体最宽处可达 25 米，矿体平均走向 40° ，倾向北西，倾角 26° —30° ，局部地段倾角大于 35° ，矿体的平均倾角 29° 。

Ⅴ号矿脉群是由六个矿体组成的，主要以Ⅴ—1 为主，其次有Ⅴ—2，其储量分别占了Ⅴ号矿脉群的总储量的 61.2%和 21.1%。Ⅴ号矿脉群位于 155—195 勘探线和-430—-739 米标高的范围内。矿体分布在主断裂面下盘的黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内，赋存于Ⅰ号矿体的下盘，距Ⅰ号矿体垂直距离 85 米，平行于Ⅰ号矿体。

3.4 矿石特征

3.4.1 矿石矿物成分

矿石中的矿物主要有两类，一类为成矿热液与围岩发生交代所形成的蚀变矿物以及热液中结晶沉淀的矿物，另一类为原花岗闪长岩交代残余的矿物。矿石矿物包括金属矿物和非金属矿物，列表 3-4 如下。

表 3-4 矿石矿物成分

	矿石矿物		脉石矿物
	金属矿物	贵金属矿物	
主要矿物	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白铁矿、钛铁矿	自然金、银金矿、自然银、辉银矿	石英、绢云母、钾长石、斜长石、方解石、黑云母
次要矿物			绿泥石、榍石、褐帘石、角闪石

主要的金属矿物和脉石矿物特征分述如下：

1.金属矿物

(1) 银金矿（Ag、Au）

矿石中的银金矿有两种，一种是金黄色，另一种是黄白—淡黄色。前者多呈圆粒状，少数呈扁圆状，成色较高。后者形状复杂，以粒状、树叉状为主，其次有脉状、片状、叶片状和柱状等，成色较低。银金矿呈强金属光泽，具有强延展性，硬度较低。银金矿

的颗粒大小相差较大，最大为0.03×0.34毫米，最小为0.007×0.015毫米，一般多在0.015×0.04毫米左右。银金矿均呈单矿物存在，根据银金矿与其他矿物的依存关系，可分为包体金、晶隙金和裂隙金三种见表3-5。

表3-5 金的赋存关系

类型	包体金占	9.60%		晶隙金占	65.77%		裂隙金占	24%
金赋存状态	位于黄铁矿中	5.5	黄铁矿晶隙	黄铁矿晶隙	41.4	黄铁矿裂隙	黄铁矿裂隙	18.04
				与黄铜矿共生	15.65		与方铅矿共生	1.75
				与方铅矿共生	4.43		与黄铜矿共生	1.98
				与方铅矿、闪锌矿共生	0.15		与方铅矿、黄铜矿共生	0.76
	包于石英中	1.8		与黄铜矿、方铅矿共生	0.91	石英裂隙	石英裂隙	0.34
				与闪锌矿共生	0.61			
	包于黄铜矿中	1.5	石英晶隙	石英晶隙	0.3			
				与方铅矿共生	0.51		沿石英裂隙与方铅矿	0.76
				与闪锌矿共生	0.9			
	包于方铅矿中	0.8	黄铁矿与石英晶隙	黄铁矿与石英晶隙 黄铁矿与毒砂晶隙	0.91			

金的赋存状体是有规律的，它的分布形态，严格受到裂隙形态的控制，特别是沿早期结晶的黄铁矿晶隙或裂隙充填的空间可以形成金的富集。

金与多金属硫化物的关系密切，在黄铁绢英岩质碎裂岩中的黄铁矿，其颗粒较细小，呈细脉状浸染状分布，金的品位比较均匀，一般约为6g/t。而出现黄铁矿、黄铜矿等多金属硫化物时的金品位可达约70g/t。在黄铁绢英岩化花岗闪长岩中，黄铁矿结晶较粗，晶体完整，呈现出不规则的脉状及小团块状富集，但是金的品位往往偏低。如果颗粒较粗的黄铁矿裂隙、裂纹发育，或受挤压破碎，被晚期矿物组合充填胶结时，金的品位就高。而与多金属硫化物组合成脉状或团块状时，金的品位更高，可达约100g/t以上。银金矿主要与金属硫化物紧密伴生，尤其以黄铜矿及早期黄铁矿的裂隙中含金高，晚期黄铁矿及脉石英含金较低。

（2）黄铁矿为金的主要载体矿物，与金矿化关系密切。一般呈淡黄色，为矿石中最主要的金属硫化物，多呈自形—半自形晶粒状产出，有些为他形粒状。颗粒大小不等，

一般细粒为自形晶，自形晶粒和他形晶粒是不同期产物。粗粒者常见于裂隙，沿其破碎裂隙，往往有黄铜矿、方铅矿以及银金矿等充填，并常被其他硫化物包裹、溶蚀、交代。颗粒细小者，多呈自形粒状，粒径0.05—0.3mm，银金矿常分布于晶隙中。黄铁矿在矿石中主要呈细脉状、浸染状和不规则团块状分布。

（3）黄铜矿也是金的主要载体矿物，一般呈黄铜色，多呈不规则状和他形粒状。黄铜矿在矿石中主要呈脉状及团块状集合体分布，常与方铅矿、闪锌矿、斜方辉铅铋矿和银金矿等共生，构成脉状，沿早期晶出的黄铁矿、石英等矿物的裂隙或晶隙中填充分布，而主要是沿早期晶出的黄铁矿裂隙充填交代。

（4）方铅矿、闪锌矿和斜方辉铅铋矿呈不规则粒状，常与黄铜矿共生，有时集合体呈网脉状，显微网脉状沿黄铁矿及石英晶隙和裂隙中填充分布，在矿石中含量很少。

（5）磁黄铁矿：多呈他形粒状晶体。常与黄铁矿共生，少数呈单独的粒状，沿黄铁矿间隙充填分布。

2.脉石矿物

（1）石英为主要的脉石矿物，大致可分为三种：热液石英，呈自形晶，具有次圆状角砾产出，波状消光和颗粒化现象，定向拉长清楚，部分角砾具有揉皱状弯曲；硅化石英，呈细小粒状，与绢云母呈集合体出现；残晶石英，呈次棱角状的角砾存在，具有碎裂现象，并有重结晶现象。在矿石中的脉石主要以热液石英产出，呈脉状分布，其余的类型的含量很少。

（2）绢云母也是脉石矿物，呈鳞片状集合体、不规则细脉状、团块状、细脉状沿矿物间隙和裂隙填充分布，具有呈长石的板状假象。

3.4.2 矿石的化学成分

矿石中主要有用组分为金、而银、铜、硫、铅、锌的数量较少，但其中的银、铜、硫可做为伴生有用组分综合回收利用，矿石中各组分含量见表3-6。

表3-6 矿石多元素分析结果表

含量(%)	>1	1-0.1	0.1—0.01	0.01—0.001
元素名称	Si、Al、Fe、K、S	Ca、Mg、P、Ti、Ce	Ba、Sr、Mn、Na	Be、Au、Pb、Ga、Cr、Ni、Bi、Mo、V、Zr、Zn、Cu、Ag、Co、Y、Se

3.4.3 矿石的结构和构造

1.矿石结构：以晶粒状结构为主，为矿石中黄铁矿的主要结构特征，按照形态大小和破碎程度不同分为，自形晶粒状、半自形晶粒状、自形—半自形晶粒状结构。其次有压碎结构、填隙结构、包含结构和网状结构。

2.矿石构造：以脉状及细脉浸染状构造为主，其次有角砾状构造、斑点状构造和网脉状构造等。

3.4.4 矿石类型

矿石的自然类型，根据矿石的结构、构造及矿石中矿物的共生组合特点，划分为浸染状及细脉浸染状黄铁绢英岩质碎裂岩型和网脉状黄铁绢英岩化花岗闪长岩型。

矿石的工业类型，根据矿石的矿物组合和物质成分，矿石含硫量较低，矿石较单一等特点，为贫硫银金矿矿石。

3.5 围岩蚀变

围岩蚀变与矿化密切相关。蚀变岩石是由黑云母二长花岗岩和似斑状花岗闪长岩经多期构造活动和热液蚀变作用而成，因此，金矿化是伴随着热液蚀变作用发生的。

3.5.1 围岩蚀变类型

本矿区主要蚀变类型有绢云母化、硅化，其次有绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化等。蚀变强度越强，硅化石英、绢云母含量越多，而原岩残余物越少。主要的蚀变岩石的特征如下。

1.绢英岩化花岗岩：一般为淡肉红色及淡灰绿色，变余碎裂花岗结构，块状构造。矿物成份为半自形状钾长石（含量约35%），斜长石（约22%），他形粒状石英（27%），半自形粒状硅化石英（3%），片状褪色云母（3%），以及鳞片状绢云母（7%）、碳酸盐（3%）、少量磷灰石等。岩石受到轻微的动力变质作用和热液蚀变，长石、石英等矿物多已形成部分裂隙。

2.绢英岩化花岗质碎裂岩：一般为淡灰—淡灰绿色，变余碎裂结构和碎斑结构，块状构造及斑杂状构造。矿物成分有石英、绢云母、残余长石及少量的菱铁矿、黄铁矿、斜方辉铅铋矿等。岩石经动力变质作用和热液蚀变作用及矿化改造，尚可保留有部分原岩成分。多分布于断裂面附近。其与绢英岩化花岗岩常分布于断裂面的上盘。

3.断层泥：分布在主断裂面的附近，一般呈灰—深灰色，糜棱结构及泥质结构。断

层泥的成分主要有粘土矿物、糜棱岩化矿物、细粒石英等。具有较强的粘性和塑性，挤压片理化现象明显，局部有挠曲构造，或发生小褶皱，有时石英或角砾分布在片理中，构成眼球状构造。

4.黄铁绢英岩质碎裂岩：一般为灰—深灰绿色，变余碎裂结构、变余糜棱结构，斑杂状构造。矿物成分有石英、绢云母、糜棱岩、碳酸盐类矿物、黄铁矿及少量的黄铜矿、方铅矿、银金矿等。原岩在强烈的应力作用下，已使矿物严重破碎，大部分矿物碎成细小的糜棱岩化矿物，其中见有未完全破碎的钾长石、斜长石、石英等。黄铁绢英岩质碎裂岩分布于焦家断裂面的下盘，是主要的含矿岩石之一。

5.黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩：一般为淡灰绿色、变余碎裂结构，块状构造和斑杂状构造。矿物成分主要有钾长石、斜长石，其次为石英、绢云母、碳酸盐、黄铁矿，以及少量的黄铜矿、方铅矿、银金矿、闪锌矿、糜棱岩化物质等。原岩受到动力变质作用，结构已受到破坏，原生矿物发生破碎，一部分长石、石英被研磨成细小的糜棱岩化矿物，残留下来的大颗粒的长石、石英呈不规则分布。矿物具有明显的波状消光现象。钾长石具有格状双晶，斜长石具有聚片双晶。在定向挤压应力作用下，破碎矿物大致呈定向分布。石英具有重结晶现象，并且具有定向拉长现象。黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩分布在蚀变岩的下盘，与上伏岩层具有清楚的接触界线，是含矿的主要岩石之一。

6.黄铁绢英岩化花岗闪长岩：一般为淡灰绿色—淡肉红色，具有变余碎裂花岗结构，斑杂状构造和块状构造。岩石经蚀变、矿化作用及轻微的动力变质作用改造形成的蚀变岩类型。矿物成分有钾长石、石英、绢云母、碳酸盐、黄铁矿及微量的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和榍石等。岩石受到的轻微动力变质作用后，长石、石英等矿物具有破碎现象，沿边部有被磨细的矿物颗粒分布。该蚀变岩与上下盘的岩石界线不清晰，呈渐变过渡关系。处在碎裂岩的下盘的黄铁绢英岩化花岗闪长岩也是主要的含矿岩石之一。

7.绢英岩化花岗闪长岩：一般为淡灰绿色—淡肉红色，具有变余碎裂花岗结构，块状构造。矿石成分有钾长石、斜长石、绢云母、石英、黄铁矿及少量的碳酸盐、榍石、方铅矿、黄铜矿和磁黄铁矿等。岩石受轻微应力作用后，钾长石和石英都具有波状消光现象，并沿矿物部分裂隙的边部有破碎矿物的颗粒。蚀变作用有绢云母化、硅化、碳酸盐化，是岩石中斜长石基本被鳞片状绢云母所代替，并析出微粒状石英。

3.5.2 矿化蚀变带地质特征

本区矿区蚀变的显著特点是硅化强。硅化的规模大，显现了早期和晚期的两次硅化。

早期硅化是伴随糜棱岩化过程中，形成的含硅质成分高的粗糜棱岩和硅化糜棱岩。晚期硅化时间长，分布范围广泛。硅化的强度大，在矿区内有硅质成分大于95%的黑色硅质岩、石英脉等。另外，绢英岩、绢英岩化花岗岩的硅质成分也可达到40—80%，甚至在蚀变较弱的近矿花岗闪长岩硅质成分也有明显的增高。

绢云母化也在矿区内普遍存在，在远离矿体，肉眼未见蚀变的花岗闪长岩中，经过镜下观察也有少量的绢云母交代长石。但是在蚀变较强的绢英岩中仍有绢云母化交代不彻底而残留的长石矿物存在。

蚀变岩中构造退变质作用明显，成矿后构造活动对矿体的破坏与改造，使岩石强烈破碎，形成碎粉岩、强片理化带、并伴随高岭土化、泥土化和绿泥石化等退变质作用发生，同时造成矿石组分的流失。构造退变质作用主要发生在主断裂面附近的矿化减弱部位，在矿体部位相对减弱，但也常造成矿体的后期破碎加强，矿体的品位降低。构造退变质作用对硅化影响较为明显，使强矿化的黑色硅质岩破碎，岩石变浅，矿化变差，并且后期构造作用是黄铁矿粒度变细，甚至使之呈粉末状，造成了金品位变化。图示3-1，在井下-530中段，137勘探线信手剖面图。

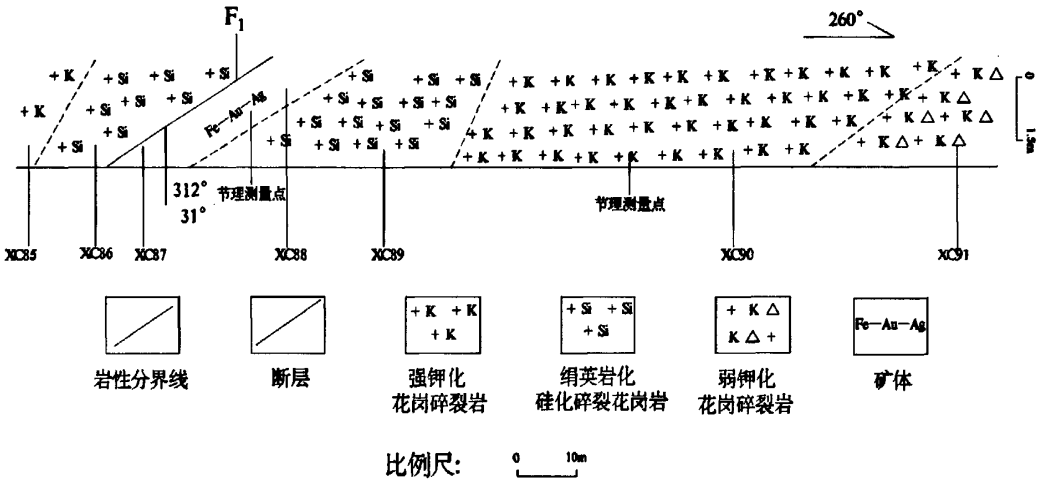


图3-1 新城-530m中段、137勘探线信手剖面图（实测，2008年）

蚀变与矿化的关系，早期硅化是在韧性剪切带中形成的，是金元素从母岩进一步活化迁移的过程，为含金热液的形成提供了物质基础，是金矿形成创造了条件。

红化是热液早期的活动标志，其分布的范围广泛，后期的蚀变作用都是在此基础上叠加形成的。一般将红化作为标志，当其强度增大时，则预示距矿体不远。有些红化岩石的节理裂隙中有后期热液的充填矿化，形成小规模的矿体。

晚期硅化与矿化关系密切。硅化有两种类型，其中代表强硅化的黑色硅质岩中黄铁

矿呈稠密浸染状，黄铁矿含量可达到30%以上，金矿物表现出成群性、丛聚性，显示出强矿化的特征。另一种是灰色—灰白色的蚀变交代硅化石英岩，分布在次级断裂和裂隙中，呈不连续的脉状，透镜状产出，并伴有较强的黄铁矿化，也是矿化较强的标志。

黄铁矿化是金矿化最直接的标志类型，矿石中黄铁矿含量与金品位成正相关的关系，但不同阶段形成的黄铁矿含金性也有明显的差异，与以下论述的成矿阶段有重要联系。

3.5.3 成矿阶段划分

新城金矿主要是热液期成矿，由于热液成矿作用的过程中，物理化学条件的不断变化，往往形成多阶段的金成矿特点。根据矿石矿物的组合、结构、构造、相互关系和形态的特点，将该区金的成矿过程划分为四个阶段：

1. I 阶段为黄铁矿—石英阶段：石英呈乳白色—褐灰色，破碎状，波状消光，呈脉状产出。石英为半自形粒状、柱状。黄铁矿呈半自形，粒度粗，常有较强的破碎，以斑点状零星地分布在石英脉及蚀变岩中，金矿化较弱。

2. II 阶段为石英—黄铁矿阶段：石英呈灰白色，弱破碎状，为他形不规则粒状，黄铁矿为自形—半自形，中粗粒，呈不规则的脉状沿岩石裂隙以交代充填产出。此阶段是成矿的主要时期。

3.III阶段为石英—多金属硫化物阶段：自然金、银金矿沿早期黄铁矿、石英裂隙充填，呈裂隙金产出，有少量包裹金和粒间金。矿物共生组合为自然金、自然银、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及石英。

4.Ⅳ阶段为石英—碳酸盐阶段：石英呈乳白色—纯白色，为自形—半自形。碳酸盐矿物呈粒状，常见方解石晶体呈细脉状产出，或石英—方解石脉产出在后期形成的次级断裂中，图版⑦为次级断裂的石英脉，图版⑧为次级断裂中的方解石脉。此阶段矿脉规模小，含金品位低，一般不具有工业意义。

第四章 断裂构造控矿规律研究

断裂构造是新城金矿区内最重要的控矿因素，直接控制了矿床的形成及其空间的分布。断裂构造控矿规律的研究有助于揭示新城金矿的形成机理、矿化富集及矿体定位规律，从而为成矿预测提供地质依据。

4.1 断裂构造特征

4.1.1 断裂构造基本特征

新城金矿区内的断裂总体上归属于焦家主断裂带，具体位于黄县—掖县 S 形断裂构造的中段，断裂沿着玲珑黑云母花岗岩与上庄似斑状花岗闪长岩接触带延伸。断裂走向北东 40°，倾向北西，倾角 20°—30°。沿走向倾斜，呈舒缓波状，为压扭性断裂，如图 4-1 所示。

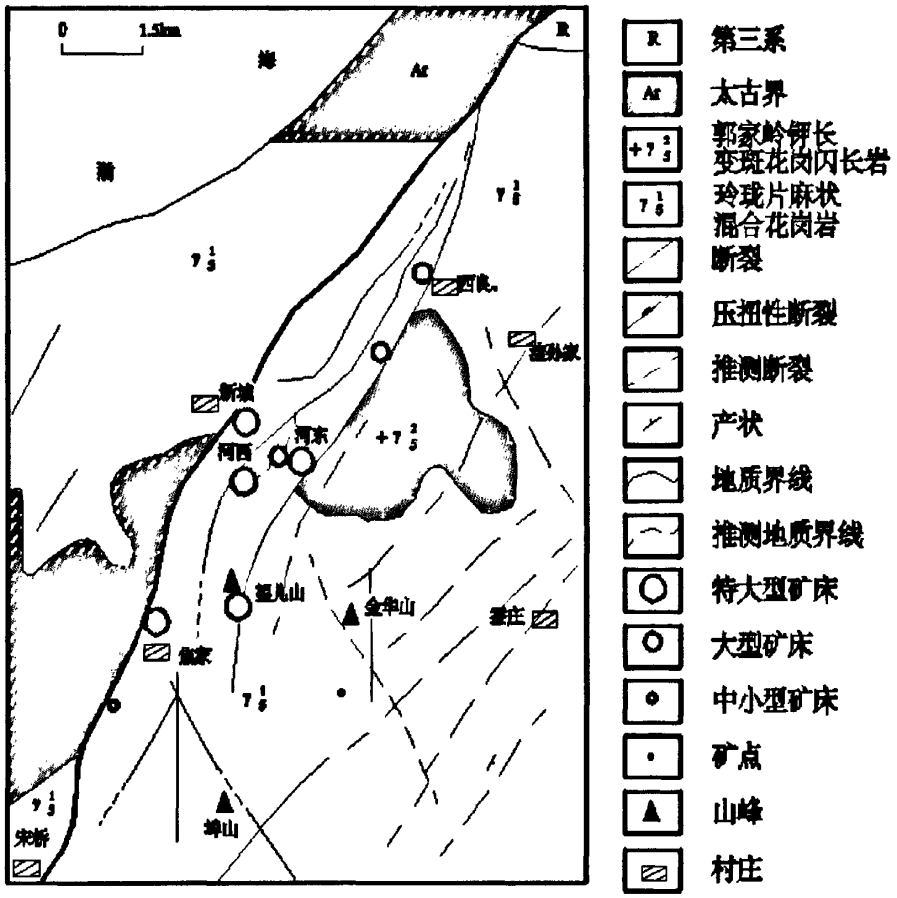


图 4-1 焦家断裂构造地质图

焦家断裂为区内规模最大，延伸连续稳定，具有长期活动的特点。早期形成的糜棱岩被矿化热液胶结再度破碎，形成角砾岩、碎裂岩，在井下的照片中显示焦家断裂主构造附近仅为岩石碎屑、断层泥及断层泥松散胶结的各类岩石及矿化角砾岩角砾。

沿焦家主构造两侧的走向和垂向上，构造岩、蚀变岩具水平和垂直分带现象。主构造面为5—20cm断层泥，连续稳定分布。以主构造面为中心，向两侧为：糜棱岩—次糜棱岩—碎裂岩—碎裂状岩石，水平宽80—150m。

焦家主断裂为东西向构造并受燕山期北东向构造的改造，是主构造在平面上呈北东—北北东—北东东向S形展布，在构造转弯处形成了焦家、新城、河西、河东、界河等特大—大、中型金矿床。

焦家主断裂沿倾斜起伏较大，尤其对于深部Ⅴ号矿体形成有较明显的影响，使之形成弯曲较大的弧形，呈波浪状展布。在波峰地段，倾角较缓，蚀变岩明显膨胀并且厚度增大，成为工业矿体聚集的有利空间，成为新城金矿的Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿体主要赋存的地段。

焦家断裂时新城矿区内主要导矿储矿构造，焦家断裂主构造走向转弯，倾斜波状起伏较大，产状变缓部位，是矿床定位的主要因素。

4.1.2 断裂构造变形特征

（1）断裂构造岩特征

断裂构造岩发育是矿区内断裂构造变形的显著特征。本区根据变形机制的不同，将构造变形岩划分为糜棱岩系列和碎裂岩系列，其中糜棱岩系列属于断裂早期活动的产物，它反映深、中层次韧性剪切变形，是高级应变相条件的结果；碎裂岩系列反映浅层次脆性变形，在低应变相条件下的产物。在同一构造层次中出现了不同应变相的产物，反映出断裂形成环境具有复杂性及多期活动的特点。由于断裂活动具有多期性，即碎裂岩系列对糜棱岩系列有明显的叠加改造，形成复式断裂构造岩。本区的复式断裂构造岩主要发育在焦家主断裂破碎带中，沿次级断裂发育碎裂岩系列的构造岩。在空间上，由于所处构造部位受到后期脆性破裂的叠加与改造，糜棱岩系列仅在局部地段出现韧性构造变形的特征，随着远离主断面，属于脆性变形的碎裂岩构造岩逐渐增多，反映出低温低压高应变的特点，说明由于构造应力作用范围及构造应力场演化的影响，不同构造部位往往产生差异的构造岩类别，而这些差异将造成成矿构造物理化学条件的差异，从而控制不同矿化类型的产出。如图所示断裂构造岩特征信手剖面图。

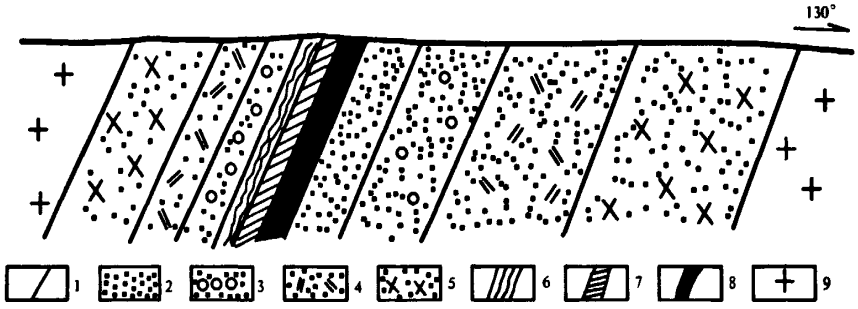


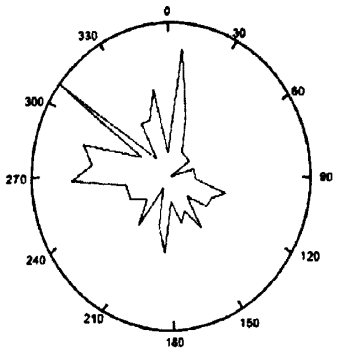
图 4-2 断裂构造分带示意图（据曹新志，2004 年）

（2）密集节理带

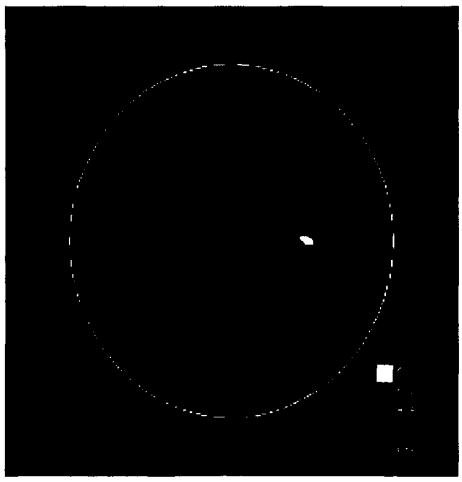
节理作为断裂活动的派生构造是矿区内常见的构造形式。当发育密度较大时，就构成密集节理带，在该带常形成细脉、网脉状矿体。密集节理带的产出、分布与断裂构造密切相关。

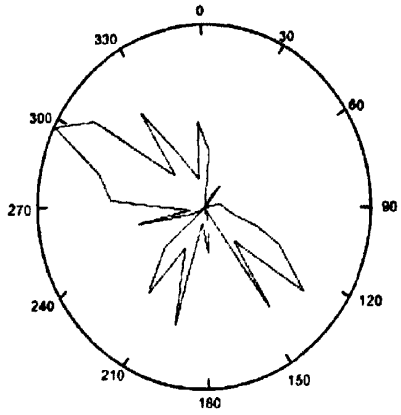
将野外调研的结果和所收集到的原始资料进行系统的统计和整理，以新城金矿-530 中段和-630 中段的节理个数 284 个统计数据的基础上，建立的节理倾向玫瑰花图。另外，采取等面积极点投影来表示节理面的产状，即将所统计的节理裂隙的倾向与倾角，利用西北大学编制的组构赤平投影三维可视化的 strGraphPrj1.0 版制成节理极点等密度图，等密图可以定量地放映节理发育的密集程度及其优势方位。如图 4-3 所示。

图 4-3 中的 - 530m 中段节理倾向玫瑰花图显示出倾向优势方向为 300° ～310° ，次级的倾向优势方向为 10° ～20° ；极密图显示优势方位 110° ，倾角约为 50° 。- 630m 中段节理倾向优势方向为 290° ～300° ，次级的倾向优势方向为 20° ～30° ；极密图显示优势方位 120° ，倾角约为 50° 。



-530m中段节理倾向玫瑰花图





-630m中段节理倾向玫瑰花图

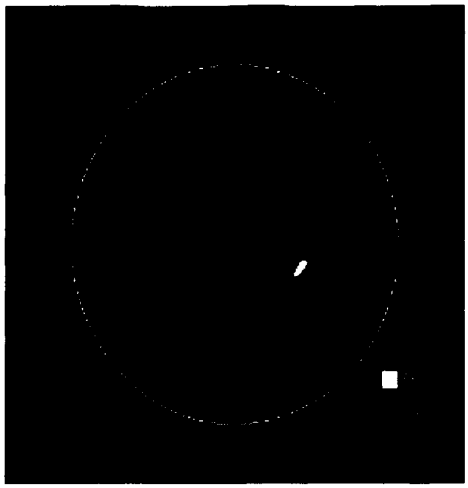


图 4-3 -530 和-630 中段节理玫瑰花图及等密图

因此本区有两种情况：一种是受主断裂控制的密集节理带，它一般都发育在碎裂岩系列中，距主断面有一定的距离，在节理密集与主断裂倾向相反的一组节理最为发育，倾向南东，倾角约为 50°；另一种是与次级断裂伴生的节理密集带，沿断裂面的上盘和下盘都有发育，产状与断裂一致，倾向北西，倾角 30°—40°。

4.1.3 断裂的变形分析及其演化

矿区内的断裂经历了复杂的变形和演化过程，不同级别的断裂还存在着差异，总体上断裂经历早期的韧性剪切变形和晚期叠加的脆性变形。

（1）早期韧性剪切变形

主要发育在焦家断裂带中，沿主断裂发育有大量的糜棱岩系列的构造岩，显示出塑性剪切变形的特征，张性裂隙被花岗岩、花岗闪长斑岩、石英斑岩、闪长玢岩及煌斑岩脉所充填。

（2）晚期脆性变形

成矿后期构造，主要分布于焦家主断裂上盘，特别是主构造面附近发育，由一系列与之平行小断层及节理裂隙组成。裂隙带水平宽度为 10—25 米，有断层泥、角砾岩及碎裂岩组成。胶结物为岩石碎屑及泥状物，胶结松散。对脉岩有一定破坏作用。成矿后或成矿晚期的断裂活动相对较弱，主要形成小规模的破碎带及节理带。在矿层中仅有少量的后期构造裂隙活动，且多沿层间分布。Ⅰ号矿体和和Ⅴ号矿体的矿体形态完整，说明矿床定位后，没有明显后期构造破坏活动。

4.2 断裂控矿规律

新城金矿区内的焦家断裂以及次级断裂共同构成了矿区的控矿断裂系统，其中焦家断裂是主要的控矿断裂，已探明的 18 个矿体与其有着密切的联系，表现在断裂控制着矿体的空间分布、形态产状和矿化的富集地段。同时矿化类型、围岩蚀变、成矿演化及矿化分带也都受到断裂的制约和影响。

4.2.1 断裂对成矿元素分布的控制

构造地球化学方法应用，揭示成矿元素的分布与断裂密切相关。中国冶勘总局地球物理勘查院李惠，构造叠加晕法在山东新城金矿深部构造叠加晕预测研究中，得出新城金矿成矿元素 Au、Ag、Pb、Zn 和微量元素 Bi、Mn、As 等的含量普遍是在断裂破碎带的下盘比较的高，并且在断裂下盘的靠近主断裂面的部位的含量最高，而微量元素 Ti、Sn、Co、Ni、V、Sb、Hg、Mo、Cu 等在断裂面的上盘和下盘的含量变化不大。

曹新志等（2004 年）认为，元素含量高的地段都是构造变形强烈、岩石破碎强烈及蚀变交代强烈的部位，其元素含量的峰值与矿体分布的中心大致相同。元素含量的差异分布表明，成矿元素以及微量元素是由成矿流体带入的，受到了断裂的影响，断裂是成矿流体运移的通道，也是成矿流体汇聚的场所，并且构造变形强度与矿化强度有密切关系，是由断裂破碎带的高渗透性和控矿性所决定了的。

4.2.2 断裂对矿体空间分布的控制

断裂控制矿体空间的总体分布。已探明的 18 个矿体中，主要是Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群。它们的空间分布主要受到焦家主断裂面的控制，分布在焦家主断裂面的下盘。Ⅰ号矿体紧靠主断裂面产出，Ⅴ号矿脉群在Ⅰ号矿体下方，与Ⅰ号矿体平行。此外，在主断裂的次级断裂及密集节理带中发育有矿化，但是矿化均较弱，仅在局部地段形成小规模的矿体或矿脉。

断裂控制了矿体的似等距分布的特点。区内主要矿体Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群的空间分布沿走向具有一定的似等距分布。新城矿床中矿脉之间存在等距分布，而且在焦家断裂带伸展方向上也存在着矿床分布的等距分布，由北向南依次有新城金矿、东季金矿、焦家金矿、马塘金矿和寺庄金矿等矿床，矿体的走向分布间距大体为 600m 左右。以新城金矿区勘探线系统统计的焦家构造带上矿体分布，191 线的新城金矿床Ⅰ号矿体与 115 线的新城金矿床Ⅴ号矿体之间的间距为 600m，31 线的龙埠金矿床与东季金矿床的矿床

间隔 600m；88 线焦家金矿床与 134 线的马塘Ⅰ号矿体的间隔 690m，134 线马塘Ⅰ号矿体与 178 线的马塘Ⅳ号矿体间距 660m。详见表 4-1。

表 4-1 焦家构造主带矿体分布间距统计（据李俊英，2002 年）

（新城金矿）勘探线号	矿床间距 m	矿床名称
191 线	600	新城金矿床Ⅰ号矿体
151 线	600	新城金矿床Ⅴ号矿体
111 线	600	预测矿点
71 线	600	预测矿点
31 线	600	龙埠金矿床
10 线	585	东季金矿床
48 线	585	预测矿点
88 线	690	焦家金矿床
134 线	660	马塘Ⅰ号矿体
178 线		马塘Ⅳ号矿体

矿体空间分布的等距特点，说明了断裂具有剪切性质，应力以一定的波长波状传递，波峰和波谷的转换使得焦家主断裂面呈现出波状起伏的特征，使得成矿的有利部位分布具有波状相间的似等距分布的特点，从而控制了矿体的似等距分布，而矿体的间隔距离与应力的主波长相近。

4.2.3 断裂对矿化局部富集的控制

焦家断裂受到多期构造的叠加，在主断裂面上、下盘构造岩发育，并且派生了次级断裂和密集节理带，共同构成断裂破碎带。其中各种形式和类型的孔隙发育，使得断裂破碎带成为一个高渗透性带和有利的扩容带，使之成矿流体汇聚、运移的通道和矿质沉淀的主要场所。但是矿床和矿体在断裂破碎带中分布是不均匀的，而且呈现出断续产状和在特定部位富集的特征。研究表明，矿体富集部位位于断裂破碎强度大、主断裂面产

状、形态变化的部位和断裂分枝交汇部位、次级断裂以及密集节理带中，断裂的特定部位控制了矿化的局部富集和工业矿体的定位预测。

4.2.3.1 断裂带破碎强度与矿化局部富集关系

新城矿区的主要矿化类型是破碎带蚀变岩型金矿，蚀变的类型和强弱是矿化的重要标志之一。蚀变作用的发育程度与岩石的孔隙度有关，孔隙度愈高，蚀变愈发育。蚀变类型多，且强度大的矿化好。在断裂面的构造岩中，碎粉状超糜棱岩到碎斑状糜棱岩到碎裂状糜棱岩到初碎裂状初糜棱岩的孔隙度逐渐降低，其中碎粉状超糜棱岩是剪切带的应变中心部位，孔隙度大，蚀变发育，常形成黄铁绢英岩，矿化最强。井下观察，黄铁绢英岩发育地段，均可见到灰黑色固结的断层泥，说明断裂带破碎强度大是由于断裂的多次构造叠加作用的结果，断裂破碎强度与矿化强度有关，在断裂破碎强度大的地段，断裂构造岩发育，有利于矿化的富集，矿体的宽度也较大。

4.2.3.2 主断裂面产状变化与矿化的富集关系

焦家断裂带在新城矿区的总体走向北东 40°，倾向北西，平均倾角 29°，呈向北西突出的弧形。焦家主断裂面主要是由断层泥组成，向北东端走向北东 40° 转折为北东 51°，倾向北西，倾角 37°；向南西端走向北东 255°、倾向北北西、倾角 24°；主断裂面往深部走向北东 40° 主断裂面逐渐萎缩，在-550 米标高处有尖灭的趋势，见下图 4-4。

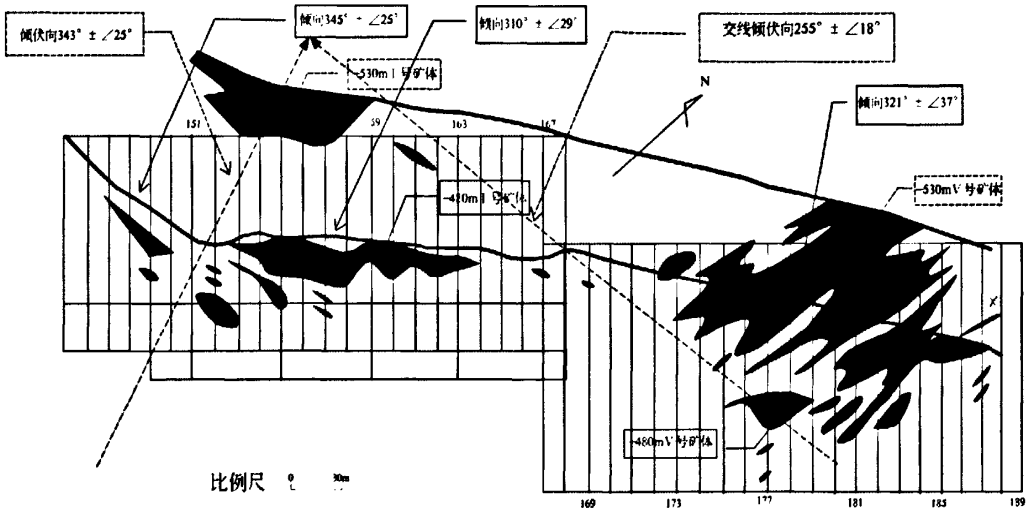


图 4-4 新城金矿-480m，-530m 中段Ⅰ、Ⅴ号矿体平面图（据李俊英，1999 年）

Ⅰ号矿体紧贴在焦家主断裂面，位于其下盘。矿体与焦家主构造带呈 30—40° 夹角，走向北东 75° 左右，倾向北北西 348°，倾角 48° 左右。平面上矿体有数个右行羽状排列的小矿体构成，其容矿构造为右行羽列状展布的北东东走向微细张扭性裂隙，成矿时

焦家断裂两盘是右行扭动—正断层。剖面上呈侧列排列，矿体的总体产状与焦家主断裂面产状一致。矿体厚度小，走向短，延深大，呈长板状展布。

说明Ⅰ号矿体的产出部位是成矿前和成矿后历经变形最为强烈的部位，构造活动强烈和多期作用，使之成为有利的矿化部位。

Ⅴ号矿脉群是埋深在-400m以下的矿脉群，靠近焦家主断裂面有北东40°向北东东转折后下盘的徐家疃带内，由北北东10°左右、倾向北西西280°，倾角26°左右的羽状排列的黄铁矿细脉群组成。水平面上，与走向51°左右、倾向北西，倾角37°左右的主断裂面呈41°角的左行侧列状展布。Ⅴ号矿脉群的产出部位受到断裂面的发展的递变性，成矿早期及成矿前的构造活动较弱，而成矿期的构造活动强烈成为矿化富集的主要控制作用，在垂向上由陡变缓的部位，是断裂面岩石受到挤压破碎最强烈的地段，因此控制了矿化的局部富集。

4.2.3.3 断裂面的形态变化与矿化富集的关系

主断裂面在水平方向呈舒缓波状展布。为了查明断裂面的三维形态变化与矿化富集的关系，本人通过对矿山已有平面图和剖面图，断裂面距矿体距离的统计，以115勘探线为0点，勘探线距离25m，终点201勘探线；中段-10m—-630m，统计792组数据，对断裂面形态进行了模拟和趋势分析。

断裂趋势面，X、Y和Z值是通过中段图和勘探线剖面图，与矿体之间的空间位置确定的，数据表4-2，其中-10m中段的断裂数据，X表示断裂距矿体的位置，Y表示断裂所处勘探线的位置，Z表示断裂所处中段的位置，其它-30m—-630m中段统计的断裂数据类似，不再罗列。模拟结果显示，主断面在三维空间上总体为一有凹凸变化的平面如图4-5。

表 4-2 断裂数据统计表

X	Y	Z
0	0	-10
0	100	-10
0	150	-10
0	200	-10
0	250	-10
0	300	-10
0	350	-10
0	400	-10
0	450	-10
0	500	-10
0	550	-10
0	600	-10
0	650	-10
0	700	-10
0	750	-10
0	800	-10
0	850	-10
0	900	-10
0	950	-10
0	1000	-10
0	1050	-10
0	1100	-10
0	1150	-10
0	1200	-10
0	1250	-10
0	1300	-10
0	1350	-10
0	1400	-10
0	1450	-10
0	1500	-10
158.1	1550	-10
158.1	1600	-10
157.5	1650	-10
157.6	1700	-10
157.6	1750	-10
157.6	1800	-10
157.3	1850	-10
156.8	1900	-10
0	1950	-10
0	2000	-10
0	2050	-10
0	2100	-10
0	2150	-10
0	2200	-10

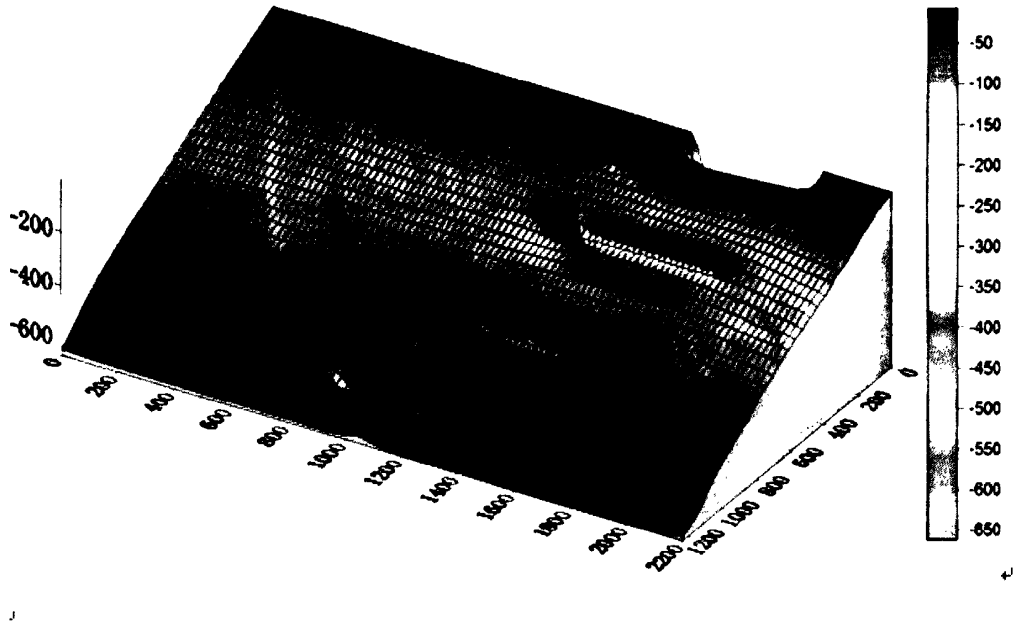


图 4-5 断裂面形态变化图

断裂面形态变化图的 X 轴表示勘探线，Y 轴表示断裂与矿体的距离，Z 轴表示中段，矿体均产于断裂面的凹凸转换部位。矿体主要赋存在 140 勘探线到 190 勘探线之间，与矿区实际情况一致。

4.2.3.4 断裂分枝交汇和矿化富集关系

Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群处于焦家断裂分枝交汇部位，同时该部位又是主断裂破碎强度大，形态变化大和构造多次叠加的部位，使其十分有利于矿化富集。其他的分枝交汇处，由于规模小，断裂破碎强度不大，不能形成较强的矿化富集，说明分枝交汇的影响是有限的，必须是多种因素的耦合作用才能形成有力的矿化富集。

4.2.3.5 次级断裂与矿化富集关系

焦家断裂是该区的主要断裂，但是次级断裂对矿化富集也有一定的控制作用。沿次级断裂中有金等成矿元素的富集，形成与次级断裂有关的矿化类型有石英脉型及细脉型，并在局部地段产出小规模的矿体和矿脉，但是由于岩石破碎强度低，规模小，一般不易形成工业矿床，因此次级断裂对矿化富集的影响也是有限的。

4.2.3.6 密集节理带与矿化富集

实际节理测量数据的统计结果分析得到，两种类型的密集节理。一种与主断裂带伴生的，主要沿断裂构造带的外侧发育，距主断裂面约 30—40 米，当断裂构造岩不发育时，距断裂面仅几米，节理带延伸稳定，宽约 4—5 米，沿节理常有石英—黄铁矿充填形成网脉状或细脉状矿化现象。节理密度据统计达到每米 15 条时即可构成矿体。另一

种是与次级断裂伴生的节理带，仅在次级断裂两侧发育，宽度不大，延伸不稳定，断续出现，节理常被石英—黄铁矿充填，但是规模较小，且节理密度较低，一般很难单独形成矿体。

4.2.4 断裂对矿体形态、产状的控制

断裂控制矿体的分布和矿化富集，还控制矿体的形态和产状。在焦家主断裂面下盘的Ⅰ号矿体呈薄板状，它所处的构造部位为主断裂面产状变化较缓慢，变化梯度小的地段，从而使矿体成板状展布。Ⅴ号矿脉群的形态在水平方向上呈透镜体状，它处在主断裂的转折部位，断裂面产状变化较大，形成了透镜状的矿体形态。在垂向上矿体的膨大狭缩现象明显，在矿体纵投影图上，Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群成雁列的组合特点，Ⅰ号矿体的下盘方向，出现与之平行的Ⅴ号矿脉群。成矿期断裂的右行水平剪切带使矿体的延长/延深比值为，Ⅰ号矿体1:4和Ⅴ号矿脉群约为1:2，如图4-6。

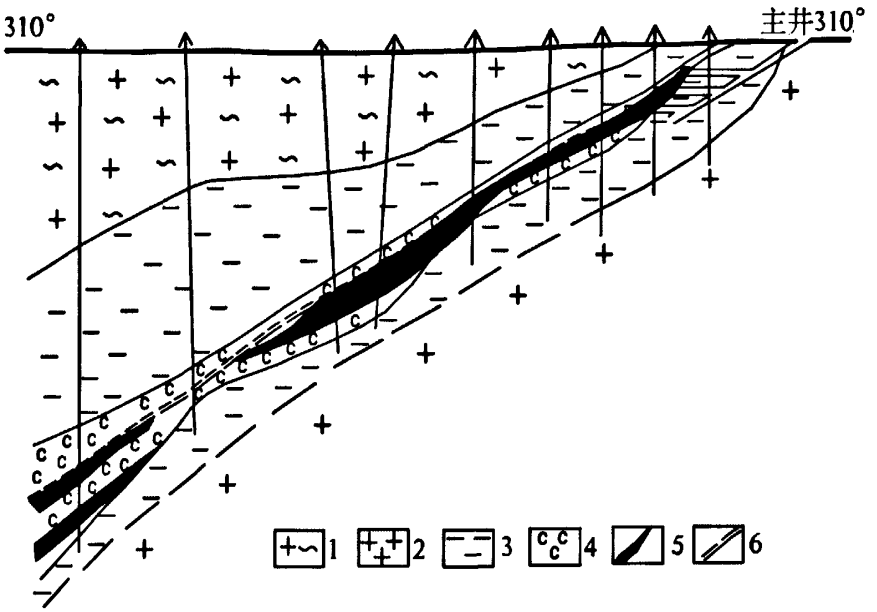


图4-6 新城金矿床勘探线剖面图

(据山东省地质局第六地质队，1992)

1.片麻状混合花岗岩；2.钾长变斑花岗闪长岩；3.绢英岩化花岗质碎裂岩；4.黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩；5.金矿体；6.成矿后断裂面

矿体的产状受断裂控制，矿体的走向、倾向及倾角在局部地段与主断裂面有小角度的相交，但总体上与主断面的产状是一致的。在矿体的厚度、品位、矿化强度和矿化相关的元素富集的数据分析得到，矿区内的Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群具有侧伏的规律，侧伏角约为40°—65°。由于主断裂在成矿期表现为右行张剪，且以水平剪切作用为主，并形成了有利矿化的强破碎带、伴生的次级断裂及密集节理带向南西侧伏，从而控制了矿

体的侧伏规律。断裂面的形态变化，是构造岩带及密集节理带处于断裂的转换地带，该区岩石破碎强度大，矿化好，常可以富集成矿，说明断裂控制矿体侧伏。因此，断裂对矿体形态，产状起控制作用。

4.2.5 断裂对矿化类型的控制

断裂是区内主要的控矿构造，其发展演化、构造岩类型及断裂带中岩石破碎程度和孔隙度，直接影响该区的矿化类型。区内的断裂只有脆性裂开，构造岩不发育的地带，成矿方式主要以充填作用为主，形成含金石英脉，但是这些含金石英脉型矿化类型主要沿着次级断裂充填，由于次级断裂延伸不稳定，宽度不大，不能形成具有工业价值的矿体，且品位较低，仅能构成表外矿床，在本区内不是主要的矿化类型。在本区主要控矿断裂即焦家断裂，不仅经历了韧性剪切变形，还经历了成矿前、成矿期多次的构造活动的叠加，断裂构造岩发育，断裂带内岩石破碎强度大，孔隙度大，成矿流体可以在其中渗流，从而形成以渗流交代为主成矿方式，形成构造蚀变岩型金矿。

断裂总体控制了矿化类型，断裂控制了不同构造岩类型、孔隙度和孔隙类型，从而控制了矿石类型。碎粉状超糜棱岩由于变形强、孔隙度大、渗透交代最为强烈彻底，形成致密块状和稠密浸染状矿石。碎斑状糜棱岩的孔隙度降低，孔隙以裂隙状为主，形成浸染状网脉状矿石。碎裂状糜棱岩孔隙度进一步降低，孔隙一部分出岩石破碎产生的裂隙，另一部分是节理裂隙，形成网脉—细脉状矿石。初碎裂状初糜棱岩的孔隙度低，主要是节理裂隙，交代作用弱，形成细脉状矿石。综上所述，构造控制的矿化类型自主断裂面向外依次为：星点状浸染状—稠密浸染状—浸染状—网脉状—细脉状。

4.2.6 断裂对围岩蚀变的控制

本区是以蚀变岩型金矿为主的金矿床，围岩蚀变是区内重要的找矿标志。围岩蚀变的类型主要包括红化、黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、碳酸盐化和绿泥石化。断裂控制蚀变岩带的空间分布，蚀变带总是沿主断裂面呈带状展布，如图 4-7 所示，发育范围受到断裂破碎带控制，局部膨大与断裂破碎带的宽度保持一致。

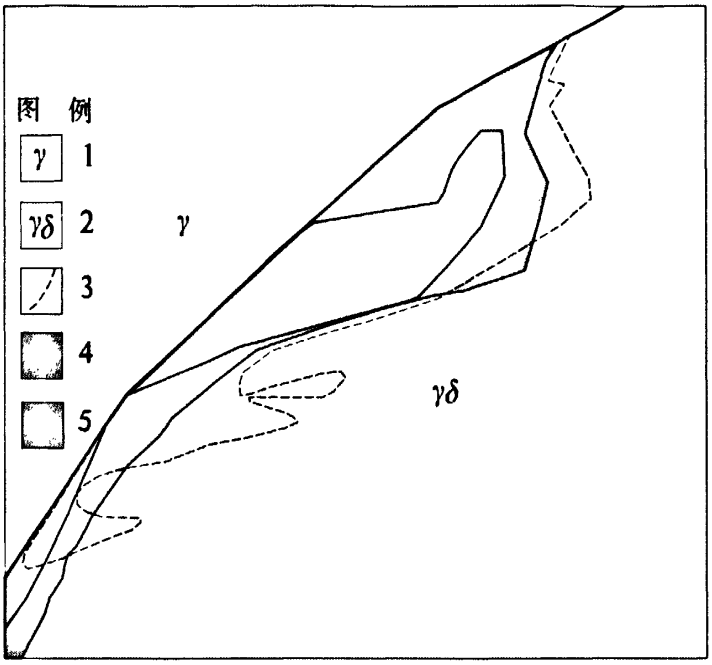


图 4-7 矿体展布与蚀变分带关系简图

1.红化郭家岭花岗岩；2.玲珑花岗岩；3.金矿体；
4.黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩；5.黄铁绢英岩化碎裂岩

断裂构造岩的类型与蚀变的类型有一定的对应关系，碎粉状糜棱岩带和碎斑状糜棱岩带主要发育有黄铁绢英岩化、绢英岩化及硅化。蚀变强度的变化形成黄铁绢英岩、硅质岩以及黄铁绢英岩化碎斑状糜棱岩、绢英岩化或硅化的碎斑状糜棱岩。碎裂状初糜棱岩及初碎裂状糜棱岩带主要发育红化。在各种构造岩带中均可发生碳酸盐化，但主要以裂隙细脉产出，不构成带状。在成矿晚期的各种裂隙中可见到绿泥石化。研究区内广泛分布的蚀变类型为红化。红化是成矿流体早期活动的重要标志，一般呈面状分布，在蚀变较弱的地段形成了成矿流体沿裂隙充填成的红化蚀变带，蚀变岩与原岩为渐变接触关系。黄铁绢英岩化、绢英岩化和硅化与矿化关系最为密切，是直接的找矿标志，且形成的蚀变岩多为近矿围岩或形成矿体。矿石品位由弱—最强—强—中强—渐弱—弱的变化，与之对应的蚀变类型依次出现黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、红化。蚀变强度和矿化强度的一致变化，放映了该区近矿蚀变强度与矿化强度正相关，都受到了断裂的控制。下图 4-8 为新城金矿蚀变岩分带示意图。

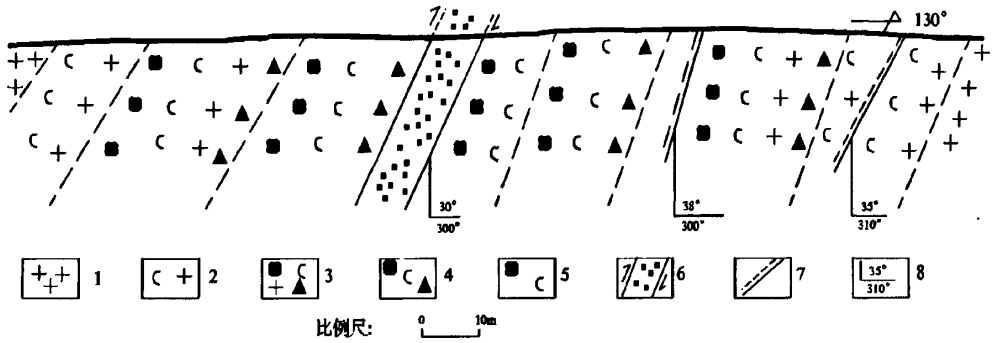


图 4-8　新城金矿蚀变岩分带示意图

1.花岗岩；2.钾化绢英岩；3.黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩；
4.黄铁绢英岩质碎裂岩；5.黄铁绢英岩；6.断层泥；7.裂隙；8.产状，倾向/倾角

第五章 新城矿体三维模型

随着勘探程度的提高，地表矿和浅部矿已大致查明，现在的矿产勘查的目标是寻找隐伏矿和深边部矿产。现在，我们拥有大量的地表和地下的成矿信息，问题就是如何利用这些信息，采用新技术、新方法研究来推断深部地质特征、矿体空间定位、实现矿床的预测评价，同时，矿床开发也要求对矿床从空间上对矿床特征进行定位预测。

矿床三维模型是以矿区的地质数据为基础，以图像、图形的方式逼真地显示三维地质实体，真实构建地下地质体结构，描述资源的分布状况，为模拟试验矿山开采提供决策依据，分析地质现象的几何特征，相互关系和地质体的空间分布，是地质学现代化研究领域的分支，利用计算机现代信息处理技术，应用现代矿产勘查理论技术，建立矿产成矿模式，对矿床特征进行定位预测。中南大学毛先成的矿体定位研究[20]。中国科技大学的李仲学和李翠平的地矿工程三维可视化研究[21]。

三维模型不仅对矿区内地质体的空间形态进行三维显示，而且还可以对矿区内地质体的空间几何形状、位置及其他地质参数进行准确的预测。同时三维模型带有地质数据库，方便数据的存储和管理，并且可以进行资源储量估计预测。

目前许多三维建模软件在矿床开发评价中应用广泛，例如澳大利亚 Surpac Minex Group 国际软件公司开发的大型矿山工程 Surpac 软件，加拿大 Lynx Geosystems Inco. 开发在 Unix 工作站运行的 Lynx 软件和在 PC 机上操作的 microLynx 程序，澳大利亚 Micromine Pty. Lmd 开发的 Datamine 系统，澳大利亚 Maptek 公司开发的 Vulcan 勘探三维软件等。

新城矿区矿体三维立体模型研究中，我们采用澳大利亚 SMG(Surpac Minex Group Pty Ltd)公司开发的 Surpac 矿山工程软件。SMG 公司是全球矿山软件开发的领导者，在世界范围的 91 个国家有 4000 多个授权用户。该软件是真三维空间信息软件，广泛应用于矿体三维建模、资源估算、矿山计划、生产的各个阶段及矿山闭坑后现场修复的整个矿山循环过程中[33]，对三维空间信息进行管理、模拟、可视化和地质统计分析。同时可以根据用户的需求，对复杂的地质体的三维分布空间关系进行三维可视化显示及分析。该软件目前在国内已经得到应用，如在甘肃金川镍矿、内蒙古阿荣旗钼矿和山东焦家金矿等建立了矿体三维模型。

5.1 矿体形态及空间关系

新城金矿床位于焦家主断裂带北段由北东向北东东向转折处。焦家主断裂带在矿床

内走向北东 40°，倾向北西，倾角 29°，呈向北西突出的弧形。

矿区内最主要的矿体，Ⅰ号矿体位于焦家主断裂面的下盘，紧靠主断裂面，地表矿体出露长 120 米，分布在 147—193 勘探线之间，平均长度 330 米，矿体最宽处可达 25 米，矿体平均走向 40°，倾向北西，倾角 26°—30°，局部地段倾角大于 35°，矿体的平均倾角 29°，呈薄板状；Ⅴ号矿脉群是由六个矿体组成的，主要以Ⅴ—1 为主，其次有Ⅴ—2，Ⅴ号矿脉群位于 155—195 勘探线和-430—-739 米标高的范围内，呈透镜体产出，矿体分布在主断裂面下盘的黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内，赋存于Ⅰ号矿体的下盘与Ⅰ号矿体相平行。

构造控矿作用下矿体空间关系表现在：矿体等距分布；矿体的延伸大于延长，新城Ⅰ号矿体的延伸/延长的比值是 4 倍以上，Ⅴ号矿脉群的比值是 2 倍左右；矿体的产出受断裂控制，倾角较缓，一般在 25°—45°；矿体具有向南西侧伏的特点，侧伏角一般在 45°—75°，矿体倾伏方位在 260°—300° 之间的近东西摆动，倾伏角一般在 25°—35° 之间。

5.2 三维建模资料收集

利用新城金矿的大量钻探、探槽及中段等地质勘探和工程数据进行矿山储量计算。这些数据有效地控制矿区矿体的空间赋存状态，并能详细查明新城金矿的成矿地质条件、控矿因素、矿床规模及矿体空间赋存规律。研究区选择 111 勘探线到 195 勘探线和 -10 米中段到-630 中段标高的范围的，钻孔及坑内穿脉 1034 个，有效地控制了矿体的形态及展布，利用上述数据建立新城金矿地质数据库，作为三维建模的基础。

5.3 Surpac 软件基本功能

5.3.1 Surpac 软件概述

Surpac 软件是 SMG 公司开发的大型矿山工程软件，广泛应用于矿山三维建模，矿山资源估算和矿山计划和生产各个阶段的矿山工程软件。软件的核心功能是：勘探和地质建模；地表和地下采矿设计；矿山工程测量；生产计划和开采进度计划；尾矿和复垦设计；地质统计学；钻孔编录[33]。软件运行于 Window 2000/NT 平台上，128MB 以上内存，350MHz 以上主频，P3 CPU，4MB 显卡。将 Surpac 软件切换成 3D 背景即可显示如图 5-1 为 Surpac 软件界面。

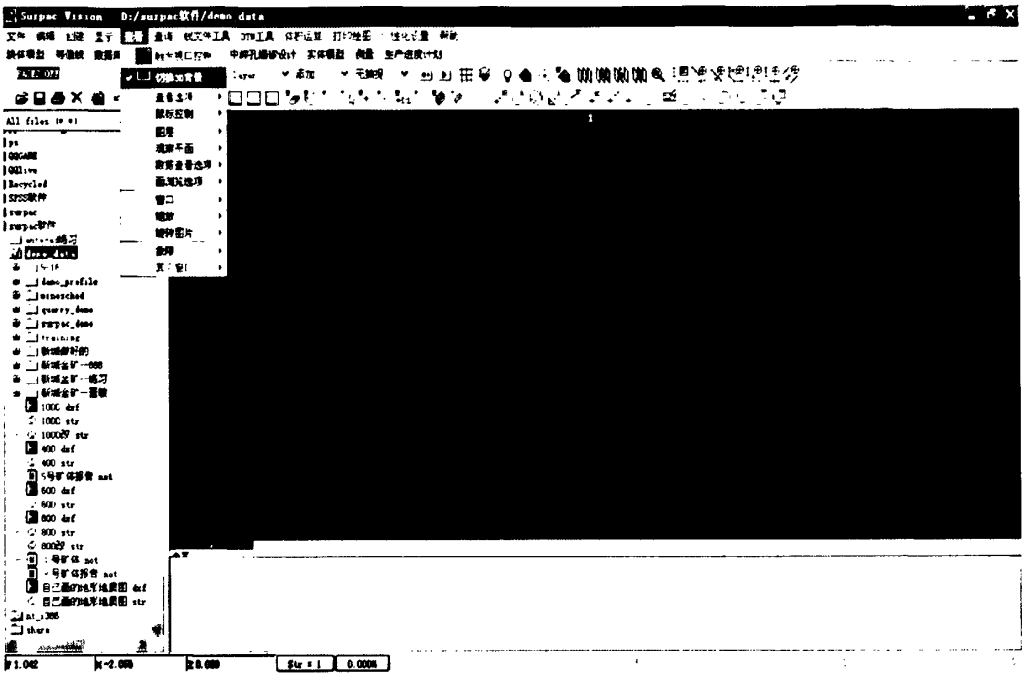


图 5-1 为 Surpac 软件界面

5.3.2 三维图形系统

三维图形系统（3D Graphic System）是 Surpac 软件的核心，是一个完全集成的数据可视化和可编辑的功能模块，实现了真正意义的三维图形模型建模，创建了真实的环境，实现三维建模的三维数字化、多视角、自动化的图例、完全真彩效果、数据的逐层显示、轨道运动的全景和缩放显示和 CAD 风格设计功能[33]。

5.3.3 主要功能模块

Surpac 软件中与核心三维图形系统连用的模块有：地质数据库、岩芯编录图形、数据分析工具、数字化地表模型、等高线、等值线、网格内插模型、断层模型、地质统计法、实体模型、块模型、自动绘图和成图等模块[33]。

地质数据库（Geological Database）：主要用于存储和操作地质信息，数据库使用拖动或简单的连接方式与中心图形系统连接，在屏幕上可以编辑钻孔剖面，同时可以对数据进行查询和修改。

实体模型（Solids Modeling）：也称为外框图，应用在地层、断层、矿体和煤层的三维模型构建中。Surpac 软件是利用一系列剖面自动或手动的方式创建实体模型。单个地质体或多个地质体可以连接成实体，并可以通过闭合的实体快速计算出其精确的体积值。

块模型（Block Modeling）：是使用精确的地质统计解译方法，对模型中每个块的属性进行量化或描述，并且可以对任何点增加或删除块的属性，属性一般可以采用金的品位或是煤的质量、成本或比重等信息[33]。

块体模型的属性和图例都可以用不同的颜色表示，根据“约束条件”，用户可定义在限定的区域内快速生成矿体的品位、体积和吨位等。

Surpac 软件可以进行地质统计，对建立的矿体三维模型进行地质分析，并将结果应用于矿体三维空间的定位预测。其余的模块在矿山工程设计及生产中也有广泛地应用，但与本次研究关系不大，不在此赘述。

5.4 新城矿体三维立体模型的建立

三维地质体具有属性特征、空间位置特征和空间关系特征等。建立三维模型时，首先确定地质体的属性特征，其次建立地质体三维空间几何模型。地质体根据三维空间几何形态，划分为三维空间的点、线、面或体等四类不同的对象，每一个对象都是由若干个点、线、面和几何元素构成。地质体的空间位置用几何元素的三维坐标（X、Y、Z）确定，地质体空间关系特征通过三维空间几何元素间的界面、截面、边和结点等具有拓扑关系，采用空间拓扑特征表示。

5.4.1 新城矿区地质数据的建立

5.4.1.1 原始资料收集

新城矿区地质数据库是三维模型建立的基础。空间数据库是在一定范围内的空间关系信息的数据集合，其与传统数据库即相同，又有不同，相同点是都具有数据输入、更新、查询、修改和数据的完全性，不同点是空间数据库中数据包含三维空间信息，同时具有该信息的属性数据。矿区数据资料收集的完整性和准确性直接影响到空间数据库建立和三维模型是否符合实际情况，因此充分收集原始资料是三维建模的首要任务。

5.4.1.2 建立数据表

Surpac 软件利用原始资料建立三维模型，主要是建立矿区的钻孔三维模型。在收集矿区的钻孔、探槽、硐探工程中的沿脉、穿脉等山地工程资料的基础上，将实际工作中的原始地质编录数据转换成 Surpac 软件可以识别的数据表信息，为了减少数据冗余，将地质信息分解为四个关系数据表，四个数据表相互独立，通过钻孔号相关联。

1.钻孔（孔口）定位表（Collar Table）：钻孔的空间位置数据中部分钻孔信息如表 5-1，包括钻孔编号、钻孔在三维空间的点坐标（X、Y、Z），终孔深度、孔迹类型。根

据矿山实际工程需要新增中段号、勘探线号和勘探线-ID 三个字段，为以后钻孔平、剖面数据的提取和平剖面钻孔的显示等工作提供了极大的方便。

表 5-1 钻孔定位表

钻孔编号	北坐标	东坐标	高程	终孔深度	孔迹类型	勘探线号	勘探线ID	中段号
135ZK190	4145071	511621.4	18.26	774.03	CURVED	135	135	10
143ZK111	4144528	512460.5	27.19	293.75	CURVED	143	143	10
143ZK180	4145030	511862.6	20.47	614.5	CURVED	143	143	10
143ZK194	4145141	511724.7	19.41	704.02	CURVED	143	143	10
143ZK196	4144342	512674	31.18	183.71	CURVED	143	143	10
151ZK105	4144512	512659.7	29.54	252.87	CURVED	151	151	10
151ZK142	4145133	511919.1	20.66	773.13	CURVED	151	151	10
151ZK144	4145004	512073.6	22.37	522.21	CURVED	151	151	10
151ZK147	4144864	512241	24.45	438.33	CURVED	151	151	10
151ZK148	4144477	512723.7	30.75	185.28	CURVED	151	151	10

表 5-1 存储信息为钻孔的开孔位置的 X、Y、Z 坐标，终孔深部表示钻孔的最大深度，钻孔的孔迹类型包括三种，直线 LINEAR、曲线 CURVED 和垂直 VERTICAL。

2.钻孔测斜表（Surey Table）：钻孔的空间位置变化以 135ZK190 钻孔为例，列表 5-2，包括钻孔编号、钻孔在三维空间的倾斜深度、倾角和测斜方向。与钻孔定位表共同描述了钻孔在空间的形态。

表 5-2 钻孔测斜表

钻孔编号	测斜深度	倾角	方位角
135ZK190	0	-90	0
135ZK190	100	-90	108
135ZK190	200	-89	150
135ZK190	300	-88	55
135ZK190	400	-86	70
135ZK190	500	-87	90
135ZK190	600	-85	90
135ZK190	700	-85	90
135ZK190	750	-84	90
143ZK111	0	-90	0

3.岩性编录表（Geology Table）：钻孔岩芯的岩性描述见表 5-3 仅以钻孔编号为 135ZK190 的数据信息为例说明岩性数据包括钻孔号、采样位置，采样长度，岩性代号。

表 5-3 岩性编录表

钻孔编号.	从	至	岩性
135ZK190	0	14.01	a
135ZK190	14.01	150.73	b
135ZK190	150.73	169.83	q
135ZK190	169.83	302.97	b
135ZK190	302.97	318.15	r
135ZK190	318.15	350.56	b
135ZK190	350.56	353.18	r
135ZK190	353.18	588.66	b
135ZK190	588.66	627.91	m
135ZK190	627.91	627.92	e

4.样品分析结果表（Sample Table）：将钻孔岩芯数据进行实验室分析结果表，下表 5-4 即为钻孔 135135ZK190 实验分析数据包括钻孔号、样品编号、采样位置、采样长度和金的品位值。

表 5-4 样品分析结果表

钻孔编号	样号	从	至	Au
135ZK190	14	339.71	341.27	0.37
135ZK190	1	627.62	629.06	3.39
135ZK190	2	629.06	630.21	9.76
135ZK190	3	630.21	631.36	8.64
135ZK190	4	631.36	632.53	0.47
135ZK190	5	632.53	633.59	0.77
135ZK190	6	633.59	634.5	0.62
135ZK190	7	634.5	635.31	0.43
135ZK190	8	635.31	636.7	0.15
135ZK190	9	636.7	637.7	0.13

5.4.1.3 导入数据表

将原始数据创建成 Surpac 软件可识别的数据格式，可采用文本格式（.text）或 Excel 文件（.csv）的格式，本文采用 Excel 文件（.csv）作为导入数据源，通过 Surpac 地质数据库模块直接将 Excel 文件导入。Excel 文件导入至数据表的过程中，Surpac 系统具有自动查错功能，对于错误或重复数据，系统不将其导入，并产生错误报告，便于用户对此进行修改。

5.4.1.4 建立新城地质数据库

将数据源导入到 Surpac 数据库模块，建立新城地质数据库。在 Surpac 软件环境中，可以对数据表进行查看、编辑、管理、增加和删除字段等操作。Surpac 软件利用钻孔三维空间的信息，建立钻孔三维模型，三维显示钻孔的坐标、钻孔的长度、钻孔的三维空

间的延伸方向和倾角的变化信息。图 5-2 为金元素钻孔的三维模型。新城矿区主要采用颜色区分的方法，对岩性和品位区间进行显示设置，同时给出了岩性和品位的地质描述，使之能够直观的显示地质编录信息，大致表现了元素在空间的富集形态。Surpac 软件提供了强大的三维显示功能，可以对钻孔在空间旋转和剖分面上显示情况和钻孔的局部放大（图 5-3）。

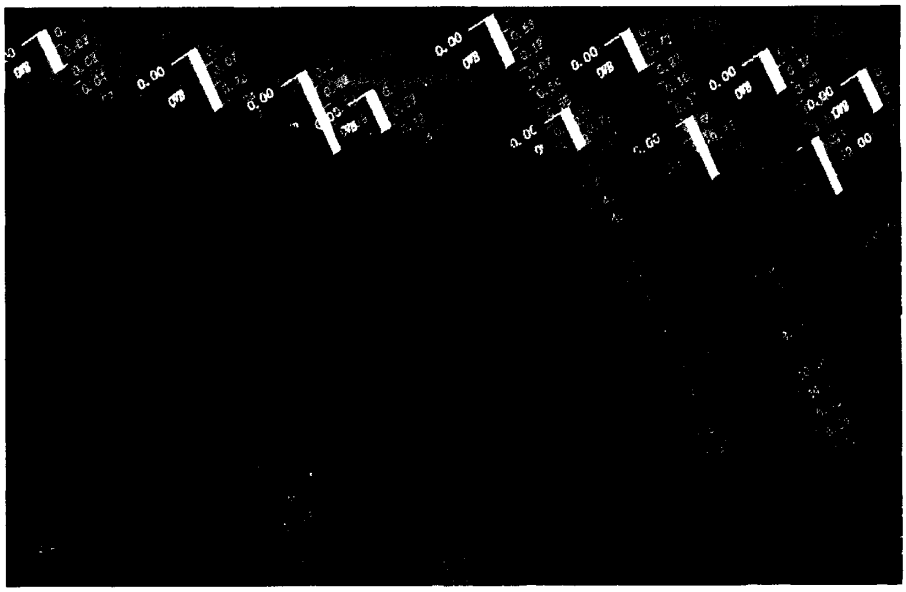


图 5-2　三维显示钻孔数据

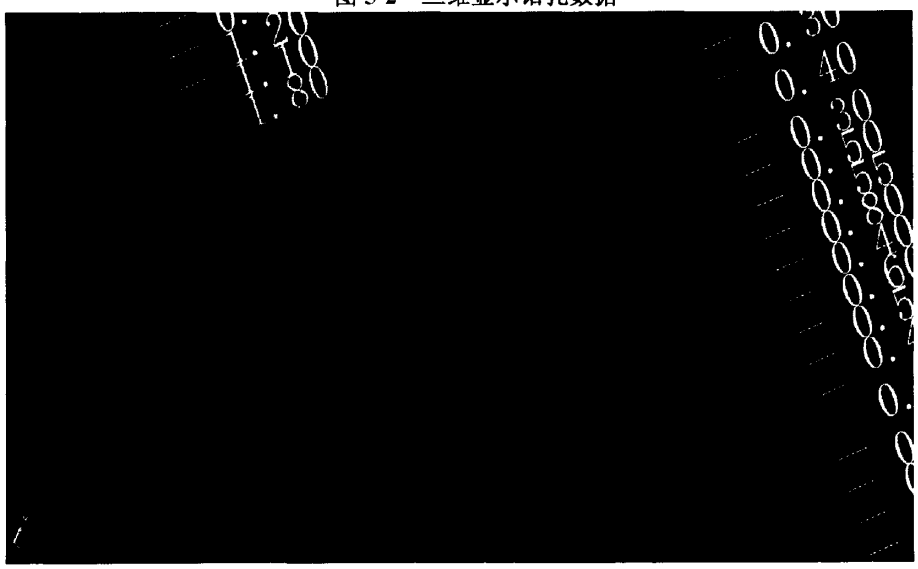


图 5-3 放大显示三维钻孔数据

地质数据库是矿床建模的基础，矿体模型的构建、钻孔数据的统计分析、品位模型估值和储量计算以及平、剖面图绘制都离不开地质数据库[33]。

5.4.2 新城矿体实体模型的建立

5.4.2.1 实体建模

三维地质模型中，实体模型是核心内容，通过三维可视化软件建立地质实体的空间形态。实体建模包括，三维地表模型（DTM）；三维矿体、岩体模型（3DM）；三维断层模型（DTM）；三维巷道实体模型（3DM）。

实体模型包括两大类，一类是开放式的数字地形模型（Digitize Terrian Model），也称为地表模型，另一类是封闭的三维实体模型，即一个 3DM 是通过包裹一个 DTM 的方式形成一种实体[33]。

实体模型与 DTM 建模原理类似，但是它比表面地形模型更为复杂的三维实体。表面模型是指上下不透气的表面实体，而实体模型是指封闭的、内外不透气的空间模型。建立实体模型，是通过一系列不重叠的三角形联结来定义实体或空心体，这些三角网通过软件的自身检测功能进行有效性验证，并且三角网在实体编辑功能下可以进行编辑和调整。

实体模型用来描述三维空间的物体，描述物体的轮廓，实现实体的三维立体显示，还可以进行体积计算和在任意方向上产生剖面，并与地质数据库相交的实体模型不仅能准确掌握矿体的几何空间形态，并对数据进行约束，建立块体模型、地质统计和储量计算。

5.4.2.2 矿体模型

矿体模型的建立能够准确显示矿体的空间形态。本文基于钻孔数据的矿体建模。Surpac 软件提供交互式的三维建模工具，首先从剖面入手，建立起矿体在剖面上矿体形态，再利用 Surpac 软件的拓扑关系建立起矿体立体模型。

1 矿体圈定规范：

（1）单工程矿体圈定，按照工业指标及金品位规范进行圈定。表内矿圈定，品位大于等于 2g/t，单工程平均品位大于等于 3g/t，真厚度大于等于 1.10m 样品，或单工程中虽有连续多个大于边界品位低于最低工业品位样品时，其真厚度不超过相当于夹石剔除厚度，而又不低于单工程最低工业品位要求时，圈为表内矿，对于以米·克/吨值圈定的，其值大于等于 3.3 g/t 的分支矿体圈为表内矿。表外矿圈定，真厚度大于等于 1.10m，平均品位大于等于 2 g/t，小于 3.0 g/t，或 m·g/t 值低于 3.3 大于 2.2 的样品，圈为表外矿。夹石剔除：夹石厚度大于等于 4.0m，或矿体中连续多个矿与非矿，其平均平均品位低于边界品位，或边界单样真厚度小于 1.10m，品位达到边界品位、工业品位，但有连

续多个矿与非矿样品，其平均品位低于边界品位，真厚度相当于夹石剔除厚度样品，均为夹石剔除。

（2）相邻工程矿体的圈定和连接：相邻工程或相邻剖面矿体的对应和连接，是根据控矿构造，矿体空间分布、形态、蚀变、矿化类型特征对应和连接。

（3）矿体外推方法包括有限外推和无限外推。有限外推：相邻工程一个工程见矿，另一个工程未见矿，平推工程间距的四分之一，进行圈定；一个工程见矿，另一个工程为矿化，品位大于等于 1 小于 2 g/t，平推工程间距三分之一；一个工程见表内矿，另一个工程见表外矿，以二分之一间距分别圈定。无限外推：当一个见矿工程以外无工程控制，或另一个工程未见矿工程时，外推同级储量网度四分之一；一个工程见矿，另一工程未超同级储量网度矿化工程时，平推同级储量网度三分之一；以 m • g/t 值确定的表内、表外分支矿体或位于表内矿体以 m • g/t 值确定表内、表外见矿工程，采用无限外推法。位于矿体边部以 m • g/t 值圈定的矿体按尖灭点处理。如图 5-4 所示，在剖面上，通过金品位，进行矿体解译圈定矿体。

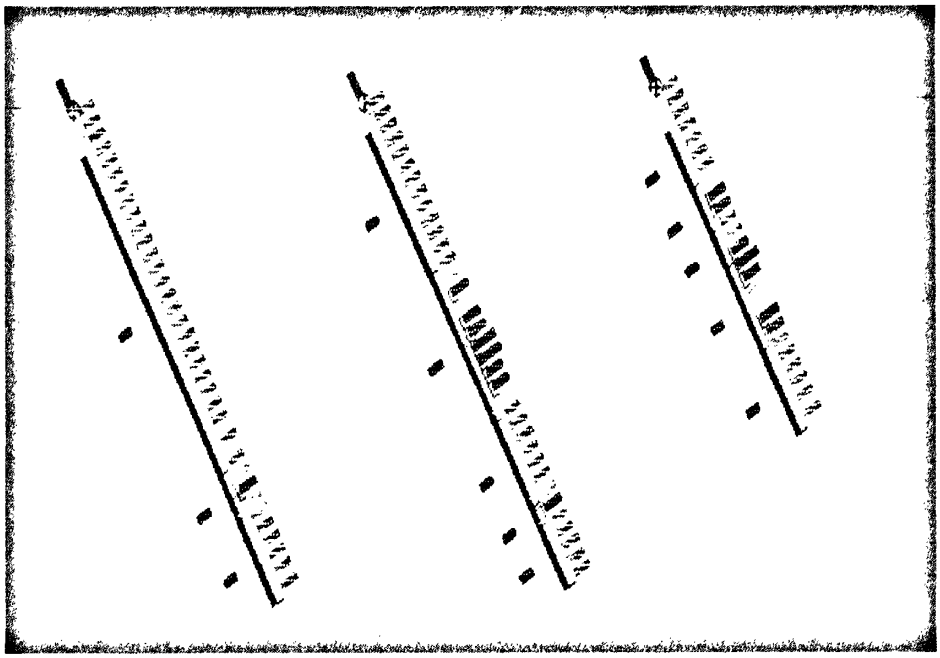


图 5-4　圈定矿体

图 5-4 中将不同的金品位显示为不同的颜色，在-99-0 范围显示为蓝色；0-1 范围显示为粉红色；1-3 范围显示为红色；5-999 范围显示为深紫色。

2.矿体实体模型创建

矿体建模通常采用 3 种方法[34, 35]：（1）利用矿体边界线确定矿体范围；（2）利用矿山已有的图件，构建基于勘探线剖面图的矿体模型；（3）利用钻孔数据，建立基于钻孔

数据的矿体模型。实际建模时，常根据建模目的选择合适的方法，但是要准确反映矿体形态，往往需要综合采用多种方法。本文采用的基于钻孔数据的建模方法和勘探线剖面图方法相结合的方法进行矿体模型的构建。

本次研究，在 Surpac 软件中，根据勘探线网度建立一系列勘探剖面，在各剖面上利用地质解译的方法圈定矿体的边界。地质解译的方法，即依照矿体圈定规范，在剖面上连接钻孔含矿段的岩性和品位的数据信息圈定矿体范围，并将形成的矿体边界保存为线文件，各剖面的矿体形态清晰地显示在三维空间内。Surpac 软件通过点捕捉功能，对矿体边界进行数字化，并形成闭合矿段。如图 5-5 所示：Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿体在 147—193 勘探上矿体剖面解译线，白色为Ⅰ号矿体、绿色为Ⅴ号矿体。

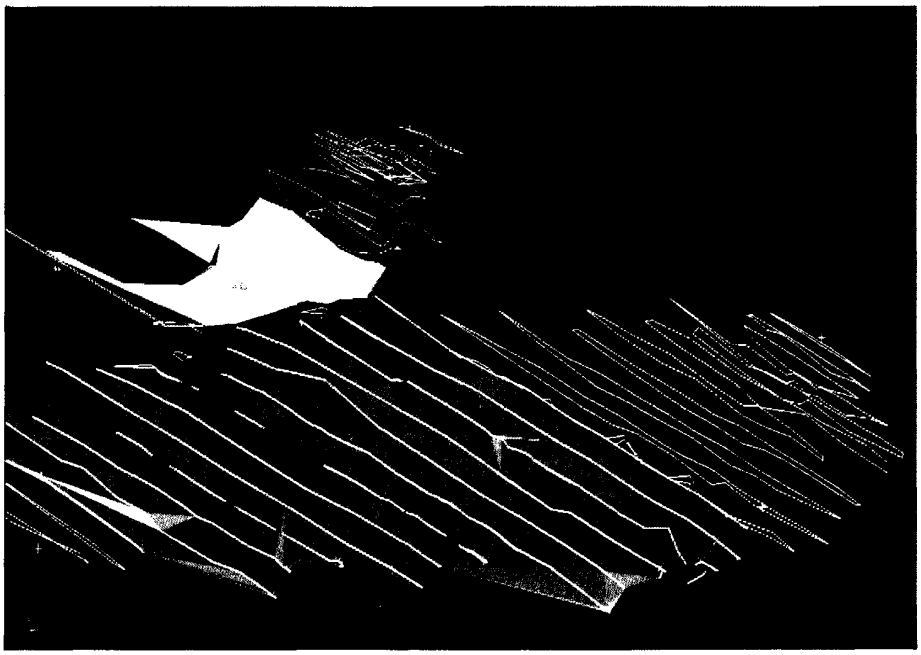


图 5-6 矿体剖面解译线

3.矿体实体建模原则[34]：（1）在创建矿体实体模型时必须要保持两相邻线段的方向一致。（2）当线段之间形状和大小变化较大时，直接连接可能会使得生成的矿体实体模型和实际不相符，因此就要使用控制线，使矿体按照实际情况进行矿体实体模型的构建。（3）线段必须是闭合的，同时不能出现重复段和相交叉。（4）线段上的点比较少时，生成的实体模型很不光滑，需要对矿体边界进行添加点处理，使生成的矿体模型更加符合实际情况。（5）实体模型需要验证实体的有效性。（6）采用实体间的交、差、并运算来处理多种地质体间的相交现象。

本次研究，在矿体建模原则的基础上，同时在创建矿体实体模型中结合矿体成矿规律，生成比较符合实际的矿体实体模型。

5.4.2.2 断层模型

断层模型是用来虚拟显示断层表面。一般由若干断层线和离散的点组成，考虑到每一个点的坐标值，将所有点联成若干相邻三角网，形成三角网随着断层面起伏变化的模型，在平面上不具有重叠功能，在同一个 X，Y 上只能有一个 Z 值。

地质体建模时，没有类似矿体的实验室化学分析结果，因此，在采用给地质体变量赋值时采用缺省品位赋值的方法。同时也可以对缺省值，给出颜色。并且该区钻孔数据主要通过控制矿体的空间形态，对断裂的控制较少，在建立断裂模型时，对已有图件进行手工测量，确定出断裂与矿体间的位置，给出断裂空间坐标位置，确定断裂变化趋势。

断裂模型的建立，可以较好的反映矿体的空间展布严格受到构造的控制，Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿体均产于断裂的下盘，并且直观地显示矿体与断裂的空间位置，Ⅰ号矿体位于焦家断裂下盘，紧靠焦家断裂，形成薄板状展布的特征。Ⅴ号矿体距焦家主断裂 80 余米，形成透镜状矿脉群。矿体模型与断裂模型已经建立完成，可以把它们复合在一起，展示实体模型之间的空间分布关系，如图 5-7：在三维坐标网下显示新城金矿矿体和断裂模型。

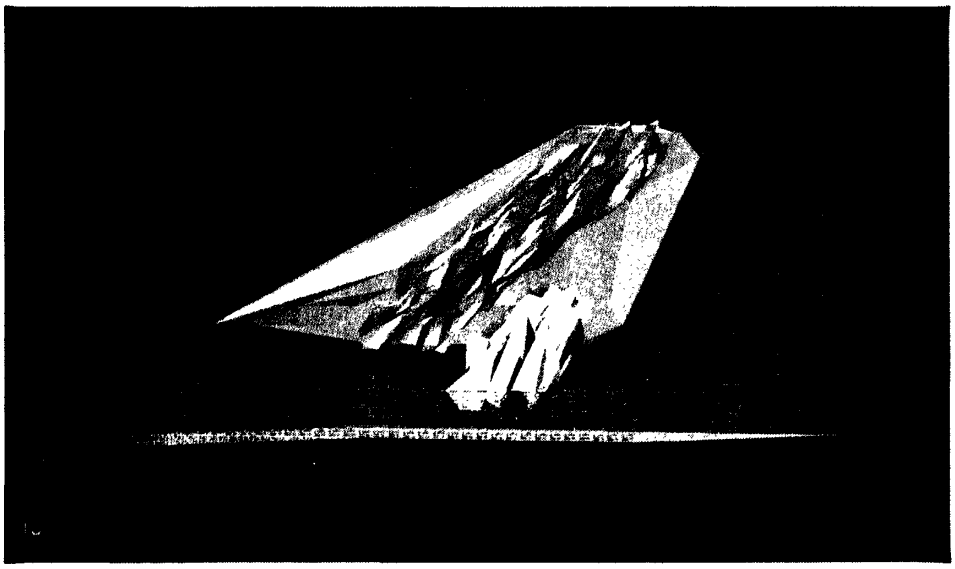


图 5-7 在三维坐标网下显示新城金矿矿体和断裂三维模型

5.4.3 新城矿体品位模型的建立

5.4.3.1 块体模型原理

块体模型是矿床品位估算及储量估算的基础，建立块体模型是将矿床在三维空间内按照一定的尺寸划分为众多的单元块，对填满整个矿床范围内的单元块的品位根据已知的样品进行品位估算和储量估算。

5.4.3.2 块体模型单元尺寸确定

一般地说，单元块尺寸越大，估值的圆滑程度就越强，因此整个区域内所有单元块的估值结果越平均，反映不出矿体内部品位的变化特征。

确定单元块段尺寸，主要考虑以下因素：（1）矿体的特征；（2）相应的矿块划分尺寸；（3）矿区的勘探网度，一般单元块段的大小为勘探网度的 1/2 到 1/4。

5.4.3.3 块体模型构建过程

块体模型包括三维矿体的模型空间信息、属性信息和约束条件。Surpac 软件的块体模型通过地质统计解译方法，对每个块的属性进行量化或描述，本文采用的金品位属性，通过约束条件建立矿体品位模型。

块体模型建模的参数设定包括，原点、范围、方位、倾角、倾伏角、用户块的大小和尺寸，沿模型的每一条边最多可拥有的块的数量都是 2 的倍数。将这些参数设定后，下一步对建立的属性值，进行下一步估值增加约束属性。

组合样品：是在矿区取样的基础上，针对所选取的样品，按照指定的长度样品进行加权平均，将其组合成等长的样品信息表，对于样长不足指定长度的，若大于指定长度的一半以上，则单独作为一个信息样对待，否则将其合并到上一个信息样中。以原始资料为基础，创建Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群的组合样品信息数据库。由于矿体空间形态大致相同，组合样长采用 1 米，属性数据是金品位数据。对组合样品进行属性约束，显示钻孔岩性和品位值。产生组合样品点，统计样品的值与空间分布情况，进行矿体分布预测及块体模型估值。

5.4.3.4 地质统计法的品位估值

地质统计学是进行品位估值方法，用于品位变化大，矿体界线有品位控制的矿体。组合后的样品点，进行对样品品位的离散值的基本统计分析，导入Ⅰ号矿体的组合样品后执行得到以下窗口（Ⅴ号矿脉群的研究方法与Ⅰ号矿体相似）：

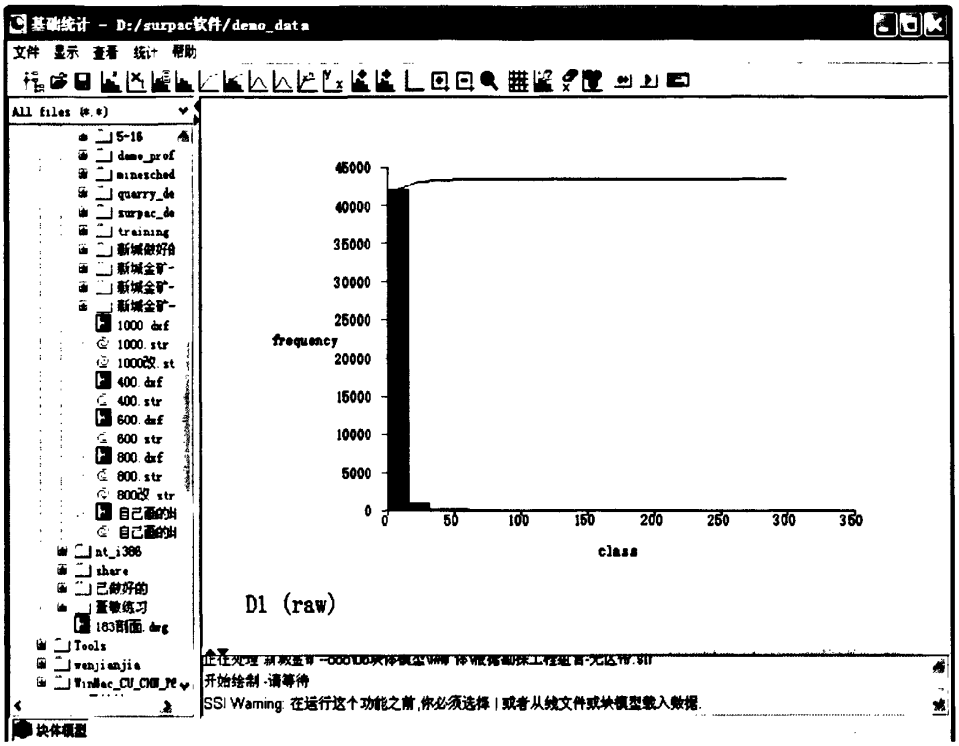


图 5-8 品位统计图

图 5-8 中 X 轴表示金的品位，Y 轴表示频次，直方图表示该品位出现的频率，曲线表示积分频率曲线，在该区的金品位几乎很少出现在 100 以上，所以对柱状图分级数目进行定义为 100，得到下盘较清晰地分布图，并可产生报告，如图 5-9 和图 5-10 所示。

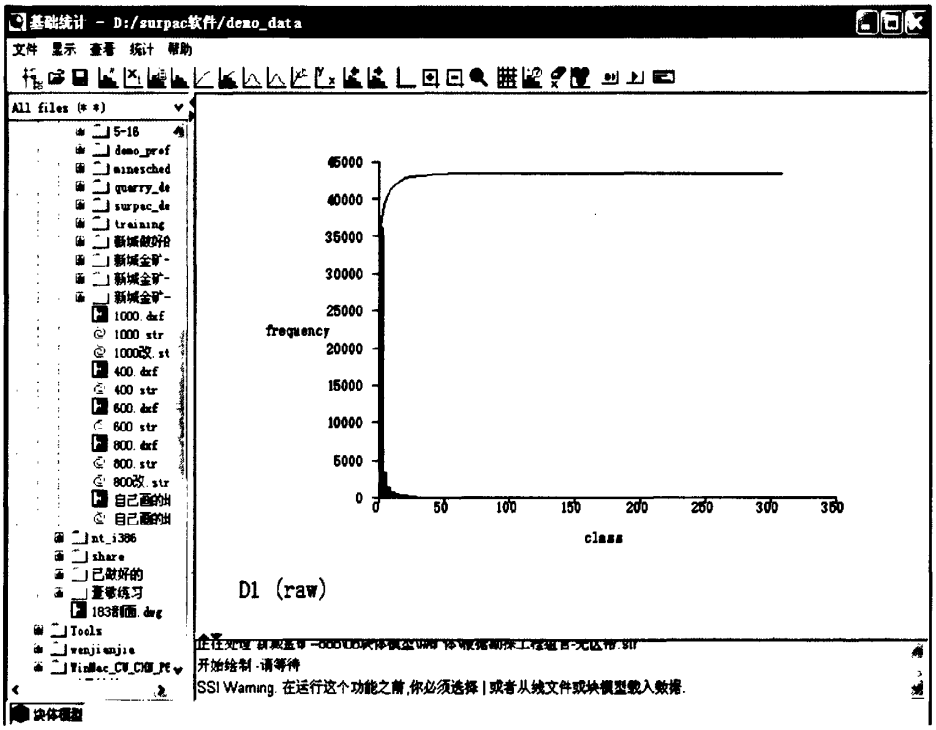
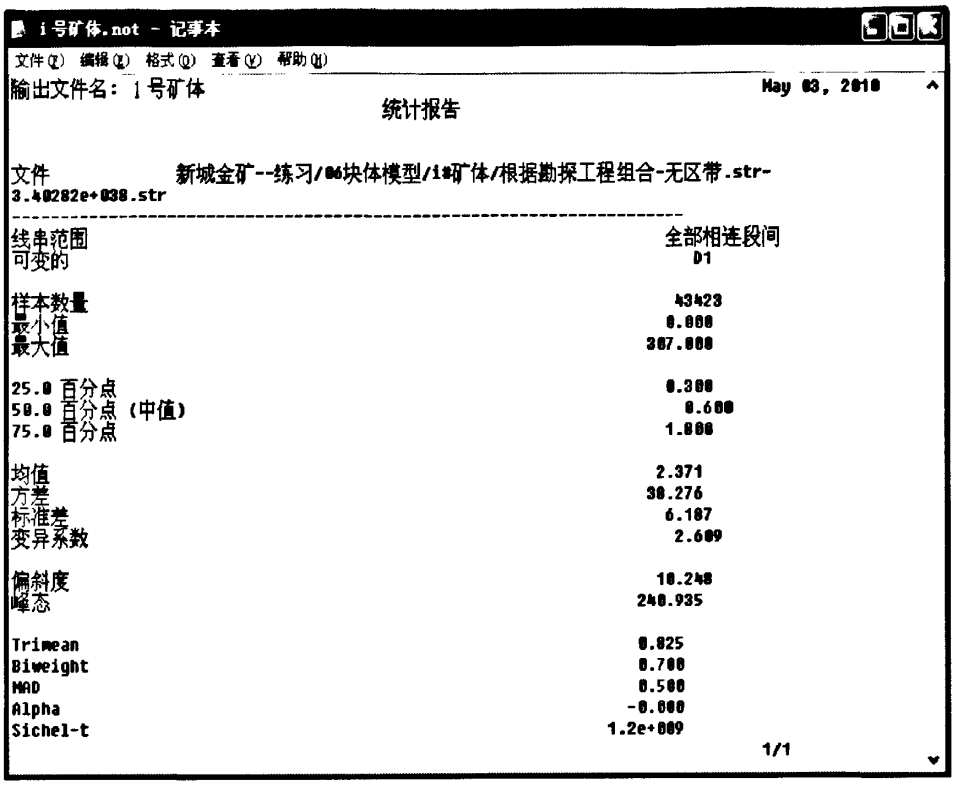


图 5-9 分级数为 100 的品位统计图



i号矿体.not - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

输出文件名：i号矿体 May 03, 2010

统计报告

文件 新城金矿--练习/06块体模型/1#矿体/根据勘探工程组合-无区带.str-3.40282e+038.str

线串范围	全部相连段间
可变的	D1
样本数量	43423
最小值	0.000
最大值	367.000
25.0 百分点	0.300
50.0 百分点 (中值)	0.600
75.0 百分点	1.800
均值	2.371
方差	38.276
标准差	6.187
变异系数	2.609
偏斜度	18.248
峰态	248.935
Trimean	0.825
Biweight	0.700
MAD	0.500
Alpha	-0.000
Sichel-t	1.2e+009

1/1

图 5-10 品位统计报告

从上面的统计分析直方图及统计报告中可以得到，参加统计的样本数目 43423 个数据中，I 号矿体的大多数样品的品位在 1 到 10g/t 范围内，有少部分样品品位大于 10g/t，样品的均值是 2.371g/t。处理极值样品的方法用某一值来代替极值样品品位，新城金矿采用 95%置信区间对应的上限值代替极值样品品位，公式如下：

95%置信区间=均值+（1.96×标准差）=2.371+（1.96×6.187）=14.49752

实际应用中 I 号矿体使用最接近整数值 15 作为特高品位替代值。

金品位的变异系数为 2.609，说明 I 号矿体的金品位变异性比较大，即矿体空间的变异性较大。地质统计中的变异函数，能够反映区域化变量的空间变化特征的相关性和随机性。

5.4.3.5 距离幂次反比法品位估值

将矿体划分成许多单元块的离散模型，根据用户定义，在限定区域内生成矿体的品位块体模型，通过约束建立矿体的单元块，并对单元块进行平均品位估值。

距离幂次反比法估值，利用勘探工程在矿体平面图上的分布特点和相互关系，以及某一点的品位与周围一定范围内的各点品位之间存在着一定的空间相互关系，即两者距离的函数关系。因而这一点的品位值可以通过周围不同距离点的已知品位对其进行估计，根据距离的远近给定不同的加权值，离估计点距离越远，估计作用越小，给的加权

值越小，距离越小，作用越大，加权值越大，呈现出距离幂次的反比函数关系。距离加权法估值，就是以这种品位与距离的函数关系为基础建立的储量估算方法，称为距离幂次反比法。距离幂次反比法不考虑观测点的矿体厚度、形态和体积，是一种类似克立格法的品位局部估计方法。

本文利用距离幂次反比法给块体模型金品位赋值，搜索参数为：搜索半径选 30m、60m 和 120m；Ⅰ号矿体走向 103°、倾伏角 25° 和倾角 31°；Ⅴ号矿体走向 243°、倾伏角 16°、倾角 31°；各向异向比率中主/半次比为 1.6 和主/次比为 3.7。给块体模型金品位赋值，可以根据实际情况多次赋值，在本次研究中，块体模型的品位值经四次的赋值即可全部填满，填充金品位值所得的块体模型图 5-11 为运用距离幂次反比法给Ⅰ号矿体块体模型赋值，赋值后块体模型。图 5-12 为运用距离幂次反比法给Ⅴ号矿体块体模型赋值，赋值后块体模型。

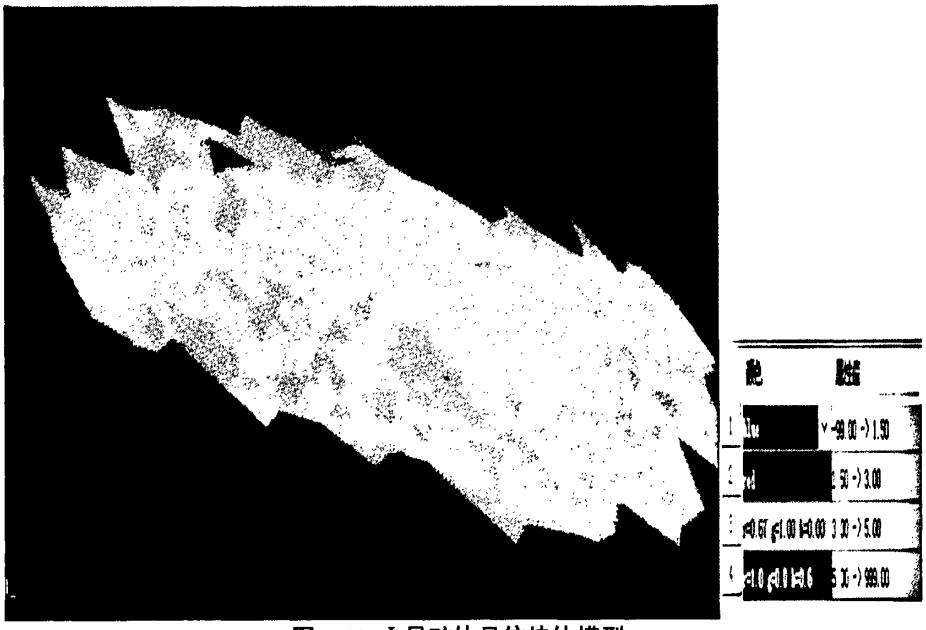


图 5-11 Ⅰ号矿体品位块体模型

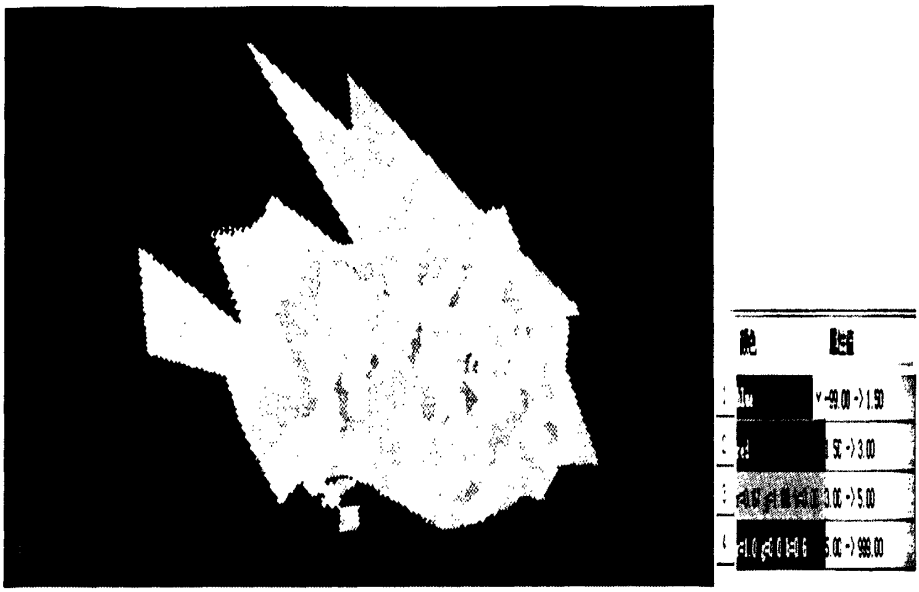


图 5-12　V 号矿体品位块体模型

5.4.3.6 矿体储量统计

矿体储量统计是对三维模拟的结果和对块体模型估值后而进行的一种储量分布情况的统计分析，为矿体的开采提供准确的储量数据。本文按照 I 号矿体的 V 号矿脉群的边界，分别统计得到 I 号矿体的 V 号矿脉群储量计算，表 5-5 为 I 号矿体，金品位在 2.0g/t—5.0g/t 范围内的储量的统计结果。表 5-6 为 V 号矿脉群，金品位在 0.0g/t—1.0g/t 范围内的储量的统计结果，见表 5-5 和表 5-6。

表 5-5　I 号矿体储量计算统计表

矿体号	金品位范围	Z	体积	吨位	金品位	含金量
I	2.0 -> 5.0	-10.0 -> 10.0	4086	10787	2.96	31955.6
I	2.0 -> 5.0	-50.0 -> -10.0	70586	186347	3.5	653037.9
I	2.0 -> 5.0	-70.0 -> -50.0	80867	213489	3.16	673988.9
I	2.0 -> 5.0	-95.0 -> -70.0	124172	327814	3.23	1058352
I	2.0 -> 5.0	120.0 -> -95.0	0	0	0	0
I	2.0 -> 5.0	-145.0 -> 120.0	238547	629764	3.31	2082614
I	2.0 -> 5.0	-175.0 -> -145.0	116016	306281	3.15	963298.4
I	2.0 -> 5.0	-205.0 -> -175.0	109781	289823	3.18	921790
I	2.0 -> 5.0	-245.0 -> -205.0	109297	288544	3.3	951947.5
I	2.0 -> 5.0	-280.0 -> -245.0	84031	221843	3.39	752942.1
I	2.0 -> 5.0	330.0 -> -280.0	0	0	0	0

I	2.0 -> 5.0	-380.0 -> 330.0	319828	844346	3.24	2731831
I	2.0 -> 5.0	-430.0 -> -380.0	178961	472457	3.31	1563067
I	2.0 -> 5.0	-480.0 -> -430.0	143375	378510	3.26	1233966
I	2.0 -> 5.0	-530.0 -> -480.0	130094	343448	3.41	1170305
I	2.0 -> 5.0	-580.0 -> -530.0	30469	80438	3.05	245618.3
I	2.0 -> 5.0	-630.0 -> -580.0	1406	3713	2.73	10152.09
I	小计		1741516	4597601	3.27	15044865

表 5-6 V号矿体储量计算统计表

矿体号	金品位范围	Z	体积	吨位	金品位	含金量
V	0.0 -> 1.0	-530.0 -> -480.0	68617	181149	0.67	121369.83
V	0.0 -> 1.0	-580.0 -> -530.0	189008	498981	0.56	2794929.36
V	0.0 -> 1.0	-630.0 -> -580.0	143492	378819	0.62	234861.78
V	0.0 -> 1.0	-680.0 -> -630.0	222180	586554	0.68	398856.72
V	0.0 -> 1.0	-730.0 -> -680.0	7008	18501	0.51	9435.51
V	0.0 -> 1.0	-780.0 -> -730.0	0	0	0	0
V	0.0 -> 1.0	-830.0 -> -780.0	0	0	0	0
V	小计		630305	1664004	0.63	1048322.52

第六章 矿体定位预测

6.1 矿体产出规律

矿体产出规律研究主要研究矿体几何形态及空间组合特征和矿体产出的地质条件，应用于指导矿体定位预测工作。

6.1.1 矿体的一般产出特征

新城金矿矿床内，已探明 18 个金矿体，分布在 135—195 勘探线和+26—-739m 标高的含矿蚀变破碎带，由走向北东 40° 转向北东 55° 的拐弯部位的主断裂面的下盘及其低序次节理裂隙中。金储量主要集中Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群中，其他均为小矿体。各矿体平行近等距展布，并具有明显向南西侧伏的特征。

矿区内发育了 18 个工业矿体。矿体均分布在焦家断裂带主断裂面下盘的含矿蚀变破碎带中，其中Ⅰ号矿体产出于主断裂面下盘，Ⅴ号矿脉群发育在主断裂面下盘及Ⅰ号矿体下方，并与之相平行。

Ⅰ号矿体为矿区最主要的矿体，地表矿体约 120m，在 147—193 勘探线之间，最宽 25 米，矿体平均走向 40°，倾向北西，矿体平均倾角 29°，矿体最大控制斜深 1120m。矿体局部有夹缩、膨胀、分支复合和尖灭再现等现象。矿体形态呈薄板状向南西方向呈 45° 倾角侧伏。矿体的矿化强度比较均一，地表及矿体深部，矿化强度较矿体中部较弱，矿体的肥厚部分为矿体中部。-10m 中段矿体长 187m，宽 45m，位于 183—187 勘探线之间；-30 米中段矿体长 210m，最宽 52m，位于 183 勘探两侧；-50m 中段矿体长 255m，最宽 65m，位于 179—180 勘探线两侧；-100m 中段矿体长 360m。-10m 及-30 米中段，矿体紧靠主断裂面下盘产出，而在-50m 和-100m 中段矿体则离开主断裂面一段距离，且近平行于主断裂面产出，因此，矿体由浅入深有变化。同时在 151、167、175 等剖面上，矿体出现分支复合现象，见图 6-1。在剖面上如图 6-2，呈薄板状舒缓波状展布，矿体向下延深并未封闭。

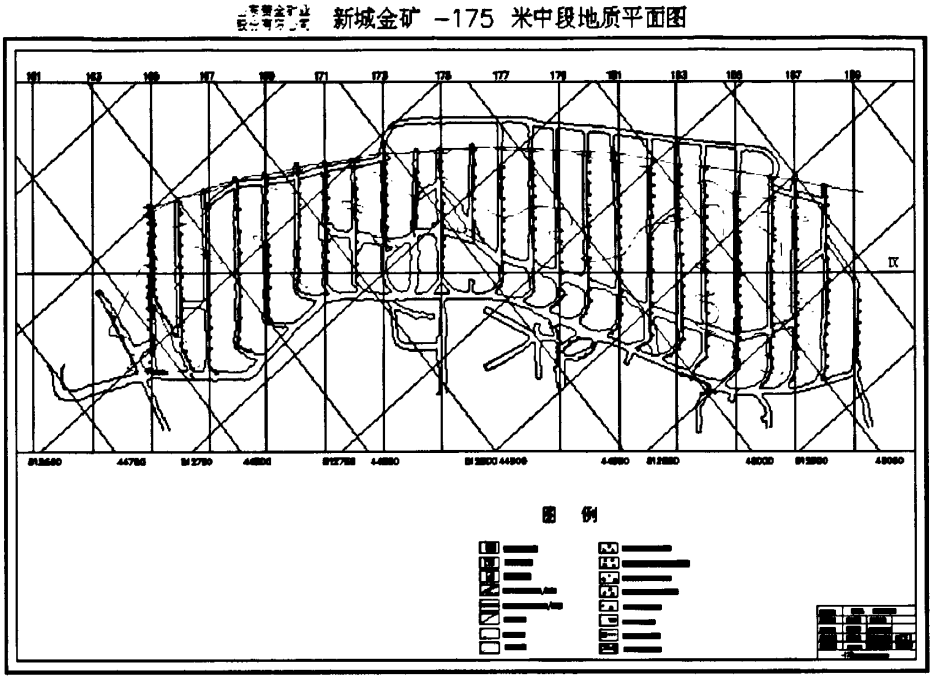


图 6-1 -175 米中段平面图（据新城矿区详查报告修编）

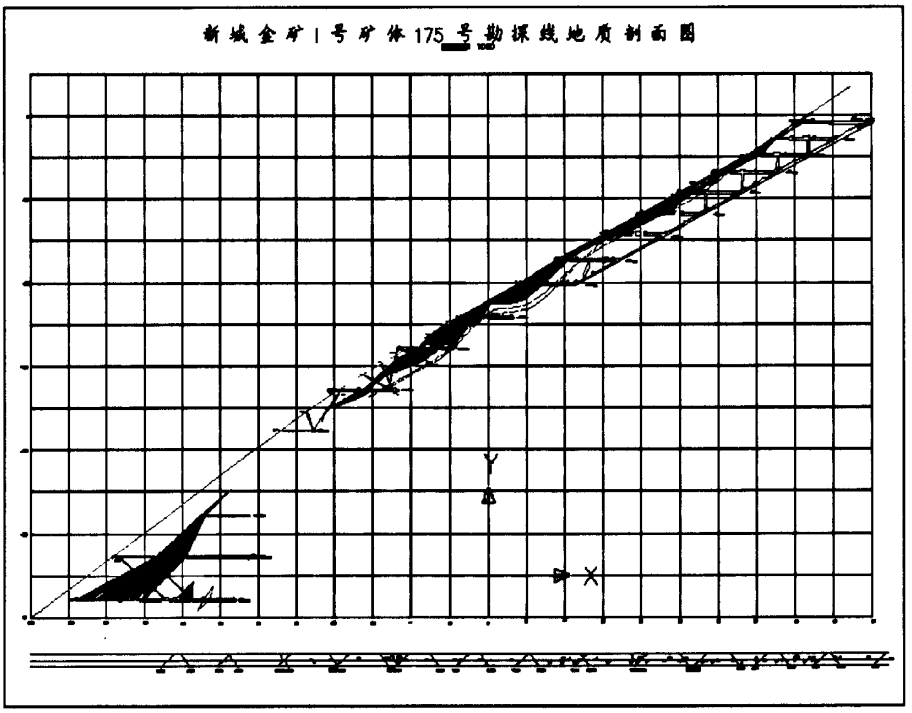


图 6-2 175 勘探线剖面图（据新城矿区详查报告修编）

矿体走向上，高品位值集中分布在 167—187 勘探线区段内，厚度大的集中在 167—191 勘探线区段内，二者基本一致。矿体倾向上，高品位值在 0m 标高以下，-300m 标高以上地段，厚度大的集中在 0m 标高，-400m 标高以上，二者基本一致。综上所述，

新城矿体在水平方向和垂直方向虽有所变化，但是变化不大，总体上矿体具有完整性和稳定性的特点。

V号矿脉群包括11个矿体，以V—1—1为主，次为V—2—1，其储量各占V号矿脉群的61.2%、21.1%。V号矿脉群主要分布于155’—195’勘探线，-430—-739m标高之间，赋存在I号矿体倾斜延深旁侧，平边上个矿体依次近等距平行分布在焦家断裂下盘。

（一）V—1—1矿体，分布于155’—195’ 勘探线，-430—-728m标高之间，主体位于-430—-635m标高。矿体在平面上呈S形产出，呈似层状，复杂透镜状产出，在183—171勘探线，-480—-640m标高， 矿体产状出陡变缓，矿体厚度增大，向两侧及深部有分枝变薄的趋势。矿体平均走向长327m，工程控制最大倾斜延深304米，平均192m，平均厚度7.59m，最大厚度26.30m，最小厚度0.85m。矿体产状为走向北东30°左右，倾向北西，倾角32°，矿体向271°方向侧伏，侧伏角64°，倾伏角29°，侧伏延深控制长度706m。

（二）V—2—1号矿体，分布在167’—195’勘探线，-490—-709m标高之间。矿体平均走向长217m，最大走向长235m，最大倾斜延深410m，平均140m，最大厚度6.14m，最小厚度0.85m，平均3.62m。矿体产状为平均走向北东28°，倾向北西，倾角30°左右，矿体向281°方向侧伏，侧伏角76°，倾伏角30°，侧伏延深471m。

6.2.2 矿体侧伏特征

矿体侧伏要素包括侧伏方向和侧伏角，一般在矿体垂纵投影图上通过测量矿体最大延伸方向与走向之间的夹角来确定矿体的侧伏要素。矿体侧伏要素可以进行矿区深部成矿预测及矿体定位预测。

1.新城金矿矿体受到焦家断裂控制，倾角缓倾斜，一般在25°—30°之间变化。

2.新城金矿矿体延深大于延长，例如，新城I号矿体，走向长200—300m，勘探控制斜深长1200余米，倾斜长是走向长的4倍以上，并且矿体还未封闭。

表6-1 焦家式矿体“延深/走向长”统计表

	走向长m	勘探线提交垂深m	倾斜长m	倾斜长与走向长之比
新城金矿I号矿体	200—300	650	1200	4倍以上，尚未封闭
新城金矿V—2号矿体	217.5	279	410	2倍左右，深部钻探仍有工业矿化
焦家金矿I号矿体	450±	600±	900±	2倍以上，在深部800余米钻孔处仍见工业矿化

总结焦家金矿带部分矿床勘探报告如表 6-1。

3.新城金矿矿体的侧伏方向一致。据统计，可知断裂带中的焦家式矿体在其垂直纵投影图上，都是向南西侧伏，倾伏角一般在 45° —75° 左右，矿体的倾伏方位基本上在 260° —300° 间的近东西向摆动，倾伏角大体在 25° —35° 之间，列表 6-2 如下

表 6-2 新城金矿矿体侧伏、倾伏统计表

	纵投影面方位	侧伏向	侧伏角	侧伏方向	侧伏角
新城金矿 I 号矿体	NE40°	SW	45° ±	281°	26°
新城金矿 V—1 号矿体	NE40°	SW	64°	271°	30°
新城金矿 V—2 号矿体	NE40°	SW	76°	281°	30°

4.矿区内 I 号矿体和 V 号矿脉群垂直纵投影图（图 6-3），已进行的工程控制的 I 号矿体具有向南西侧伏特征，侧伏角为 45° ±。据目前研究，焦家金矿带各矿床的主矿体在其垂直纵投影图上，具有向南西侧伏的特性，侧伏角一般在 45° —60° 左右，例如，在北东 40° —南西 220° 纵投影面上，新城金矿 I 号矿体，向南西侧伏、侧伏角 45° 左右；马塘金矿 V 号矿体，向南西侧伏、侧伏角 50° 左右；马塘金矿 II 号矿体，向南西侧伏、侧伏角 58° 左右；红布金矿 II 号矿体，向南西侧伏、侧伏角 55° 左右；焦家、上庄、望儿山等金矿的矿体的侧伏特点也与之类似。

李俊英（2003）认为：在延深大于延长的矿体产状描述上“侧伏”与“倾伏”是一个问题的两种表示方法。具有侧伏现象的矿体，在倾斜面上矿体轴线向纵深延深方向，称之为矿体的倾伏向，轴线与水平面夹角，称为倾伏角。倾伏向是矿体轴线的水平投影方式。当矿体倾向、倾角和矿体侧伏方向及侧伏角已知时，矿体侧伏方向和侧伏角计算可得：新城金矿 I 号矿体，倾伏方向 281° 、倾伏角为 26° ；马塘金矿 V 号矿体，倾伏方向 270° 、倾伏角为 31° ；马塘金矿 II 号矿体，倾伏方向 275° 、倾伏角为 34° ；红布金矿 II 号矿体，倾伏方向 284° 、倾伏角为 32° 。

焦家金矿带上各矿床的主矿体具有侧伏方向一致，侧伏角相近的特点，即倾伏方向基本上在北西西向 200° —300° 之间摆动，倾伏角在 25° —35° 之间。倾伏角和侧伏角的大小与容矿构造带的产状一致，容矿构造倾角较缓，倾伏角和侧伏角也小，反之，即大。

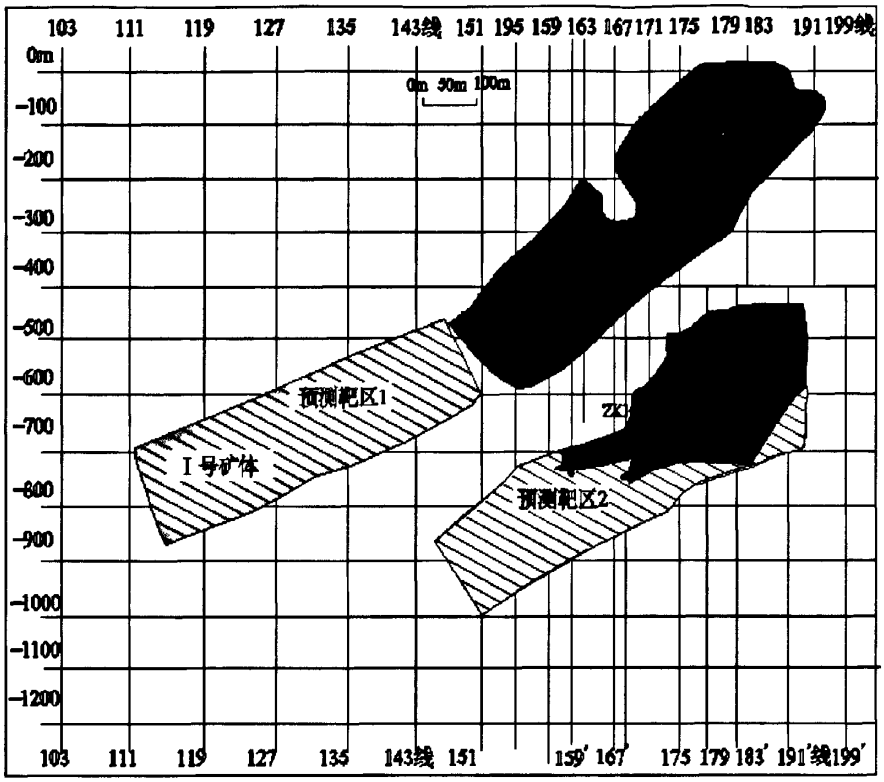


图 6-3 新城矿区内Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群垂直纵投影图

矿体的定位受到容矿裂隙的控制，而容矿裂隙的形成又是受到地应力的控制，焦家金矿带上的金矿体表现出一致的倾伏特征，说明他们是在共同的、统一的地应力场下形成的，根据新城容矿共轭节理研究计算，其交线产状与矿体倾伏产状基本一致，即矿体倾伏产状是成矿地应力场中间主应力产状参数的反映，同时说明了，焦家构造带上主矿体容矿裂隙是在“右行”扭动，上盘以较小角度向下斜落的应力场下形成的[40]。

6.2.3 矿体垂向上的变化特征

Ⅰ号矿体形态比较完整，大致呈连续的薄板状产出，向南西侧伏，侧伏角 45° 左右。在垂向上，地表及矿体深部，矿化强度不大，但是在矿体中部的肥厚部位矿化强度高，在-10m 中段，183—187 勘探线之间，矿体长 187m，最宽 45m；在-30m 中段，183 勘探线两侧，矿体长 210m，最宽 52m；在-100m 中段，矿体长 360m，说明矿体局部具有分支复合的现象，但是Ⅰ号矿体总体上表现为矿体具有完整性和稳定性。

Ⅴ号矿脉群的控矿构造表现为一系列低序次节理裂隙密集带，呈相互平行近等距分布于焦家主断裂的倾斜延伸旁侧，是主构造派生的低序次构造，Ⅴ号矿脉群在平面上呈平行等距 S 形右行斜列式展布，剖面上呈雁行式斜列展布。Ⅴ号矿脉群顶部在 191’—183’勘探线，总体产状为走向北东 30° —45° ，倾向北西，倾角 20° —29° ；183’

—175’勘探线，走向北近南北，倾向北西或南西，倾角35°—47°；175勘探线以西，矿体走向40°—47°，倾向北西，倾角24°—36°。矿脉群中部、深部与顶部产状大体相一致，中部倾角趋于变缓，最缓地段倾角7°—26°，深部较陡。在垂向上对岩芯资料对矿脉群的形态和产状分析：Ⅴ号矿脉群主要受北东及近南北向两组构造裂隙控制，含金黄铁矿脉，含金石英—黄铁矿脉在两组构造裂隙充填交代，矿体主要赋存于两组裂隙交汇或产状由陡变缓部位，该部位矿体厚度增大，品位值高。

6.2.4 矿体的似等距性分布

矿区内不同矿体相互之间的组合关系，表现出沿焦家断裂带走向上的似等距分布的特征，并且这种现象在整个焦家断裂带金矿带中的不同级别的成矿单元中都有类似的特征，在焦家断裂带构成的整个金矿带内，由北向南大致以600m左右依次发育有新城金矿、东季金矿、焦家金矿、马塘金矿、鲍李金矿、寺庄金矿等矿床。

6.2.5 矿体赋存规律及找矿方向

6.2.5.1 矿体赋存规律

新城矿体受北东向压扭性焦家断裂及其低序次节理裂隙密集带控制。工业矿体主要沿焦家断裂及低序次构造平行斜列展布，其赋存规律：

1.矿体赋存在焦家主断裂面起伏较大产状变缓部位，断裂面起伏是受到控矿断裂多期继承性活动叠加的结果，在断裂面起伏向北西突出部位是矿体主要赋存部位。

2.与主断裂面伴随产出的低序次压张性、剪张性及共轭节理裂隙密集区有利于矿质富集。该区是容矿区，特别是节理裂隙交汇或产状变化地带有利成矿流体的赋存，有利于脉状、细脉状矿化充填交代，形成工业矿体。

3.复式岩体接触带，在接触带老地层残留体较多的地方，是构造软弱带，有利于成矿热液活动和富集，形成矿体。

6.2.5.2 找矿方向

1.焦家断裂及其低序次构造控制矿体的产状：矿体具有走向北东，倾向北西，倾角45°左右，在剖面上普遍具有向南西侧伏的规律。矿床在中低序次构造控制下的矿体，如Ⅴ号矿体受到焦家断裂控制，如Ⅰ号矿体，平面上具有右行平行等距斜列规律和侧伏规律。

2.构造蚀变岩的发育，特别是绢英岩化、绢云母化、强硅化、钾长石化糜棱岩、碎

裂岩是矿体主要的成生岩石。

3.近矿岩石微量元素变化，成矿元素在近矿围岩中相对富集系数是找矿标志。

4.控矿构造叠加交汇，波状起伏，产状由陡变缓部位，是矿体富集部位。

6.2 矿体定位预测原则和方法

“定位”是物体经测量后在三维空间确定的位置，地质意义是标定地质体（或矿体）在三维空间的位置，减少多解性，降低风险。定位预测可以对含矿地质体的地质条件、控矿标志的信息定位，推断潜在矿体的三维空间位置。

矿体定位预测的原则：系统化、综合评价和模拟逼真。

系统化原则是指在靶区的选取要力求达到见矿概率最大，漏矿概率最小。一般情况下，矿体赋存的空间比预测区的整体空间要小，预测范围太大，单位面积含矿率降低，反之太小，会造成漏矿的概率增加。即在不漏矿的前提上，最大限度的提高见矿率，从而确定预测区边界的最佳空间位置。

综合评价原则是指对靶区的具体圈定要充分分析三维空间的各种资料，综合各种资料包含的有效成矿信息，在此基础上圈定有利成矿部位，确定找矿靶区。

模拟逼真原则是指对圈定的靶区不仅有矿，而且靶区的形态尽可能与矿体的几何形态相一致，从三维空间确定出预测矿体的外部形态和产状等特征，从而达到三维定位预测的目的。

矿体定位预测的方法：主要通过趋势面外推法结合类比法进行预测，以往靶区优选的类比法、综合法和求异法可以确定出靶区的大致范围，但是对于确定矿体形态和产状的变化，主要采用趋势外推法。趋势外推法是利用趋势外推参数进行定位预测。

矿体外推的原则：（1）矿体的连接和外推应遵循矿体地质规律，矿体一般采用直线连接，工程间矿体的厚度，不得大于相邻工程实际控制的矿体最大厚度。（2）见矿工程外无工程控制，但相邻边缘工程不见矿，其相应矿化部位金品位小于边界品位的 1/2 时，实际工程间距小于勘探网度的，按照实际工程间距的 1/2 的距离外推尖灭；实际工程间距大于勘探网度的，按照相应网度的 1/2 外推尖灭。边缘工程不见矿，但其相应矿化部位金品位大于或等于边界品位的 1/2 时，实际工程间距小于勘探网度的，按实际工程间距的 2/3 外推尖灭，实际工程间距大于勘探网度的，按照相应网度的 2/3 外推尖灭。（4）见矿工程外有脉岩，若见矿工程与脉岩间距大于 2/3 勘探网度的，则按照勘探网度的 2/3 外推尖灭；若见矿工程与脉岩间距大于 1/2，但小于 2/3 勘探网度，则以其与脉岩的接触线为矿体边界线。

研究区，断裂控制矿体的形态和产状，本文利用控矿断裂的趋势面分析和矿体品位趋势分析对Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群进行定位预测。对已知矿体的紧邻外延的地段进行趋势面外推法为主，对于稍远于已知矿体的地段采用与已知矿体变化趋势的类比法进行预测，是在一定范围内的外延地段的矿体直观地显示。定位预测的客观真实性有待矿山工程的数据进一步验证。

6.3 矿体定位预测靶区

本次研究是在地质理论应用和矿区钻孔数据的分析的基础上，借助计算机技术和Surpac矿山工程软件实现新城矿体定位预测。定位预测是成矿预测研究的前沿内容，常常以大比例尺预测的形式实施。对新城金矿矿体的三维定位技术应用研究，通过地质理论的应用结合信息技术达到预测的目的。

6.3.1 定位预测靶区的圈定

在已知工业矿体构造控矿规律及矿体定位规律的基础上，经综合分析，对Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿体圈出2个定位靶区。划分出的靶区的依据是构造控矿规律和矿体产出规律，由于李惠的构造叠加晕显示的有利成矿区带以及初步探矿工程验证已发现的工业矿化有利地段，但是尚缺少探矿工程验证，因此本次研究主要运用构造控矿规律和矿体产出规律，结合已知矿体进行的深边的定位预测。

6.3.1.1 Ⅰ号矿体的预测靶区

Ⅰ号矿体预测靶区位于Ⅰ号矿体向下右侧列，属于Ⅰ号矿体深部的下延部分，在矿体的垂直纵投影图上预测的标高在-500m—-900m，走向方向在111勘探线—147勘探线之间。矿体形态总体向南西侧伏，侧伏角在45°左右，呈薄板状展布。

预测依据：Ⅰ号矿体是破碎蚀变岩型金矿类型，矿体在-500m中段的围岩蚀变强度无减弱趋势，并且具有与成矿关系密切的硅化现象；断裂控矿研究，焦家断裂向深部延深稳定，有利于成矿流体聚集，形成工业矿体；矿体定位规律研究，矿体在剖面上具有分支复合的循环变化特征，显示矿化可以向深部延深；矿体品位模型显示矿化向深部延深。考虑到定位预测矿体的可信度、趋势外推的有限性及地质工作的循环渐进性，三维定位预测的标高-900m，-900m以下的成矿前景有待进一步的深入研究。

6.3.1.2 Ⅴ号矿脉群的预测靶区

Ⅴ号矿脉群预测靶区位于Ⅴ矿脉群向下右侧列，是南西侧伏的延深部分，在垂直纵投影图上预测的标高-700m—-1000m，走向方向在147勘探线—171勘探线之间，矿体

形态总体向南西侧伏，侧伏角在45° 左右，与Ⅰ号矿体一致。

预测依据：Ⅴ号矿脉群的围岩蚀变特征、构造控矿规律、矿体产出规律和品位模型研究，预测矿体向深部延深，通过趋势外推法，定位预测矿体靶区。

6.3.2 定位预测靶区特征

本次研究，将定位预测的靶区在三维矿体模型上，利用Surpac软件，矿体三维模型建立预测靶区的三维模型，实现矿体三维定位预测，确定出靶区的空间位置及与Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群的空间关系。不足之处，预测靶区的矿体形态单一，有待进一步的完善。详见图示（图6-4、图6-5、图6-6、图6-7）。

图 6-4，利用勘探线剖面图和中段平面图，定义勘探线剖面，进行地质解释即圈定工程控制的矿体边界。白线为Ⅰ号矿体的边界，绿线为Ⅴ号矿体边界。图 6-5，显示利用surpac软件构建地矿体实体模型，以NE40° 观察，红色为Ⅰ号矿体，绿色为Ⅴ号矿体。

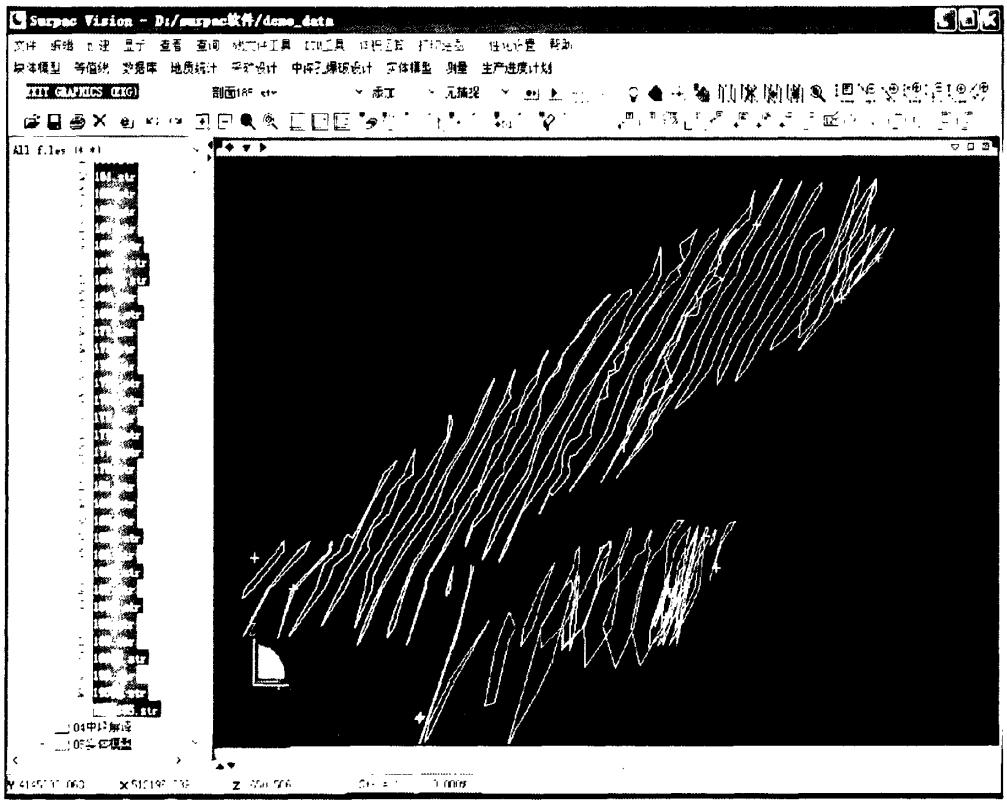


图 6-4 剖面解译线

注：白线为圈定的Ⅰ号矿体边界，绿线为圈定的Ⅴ号矿脉群边界

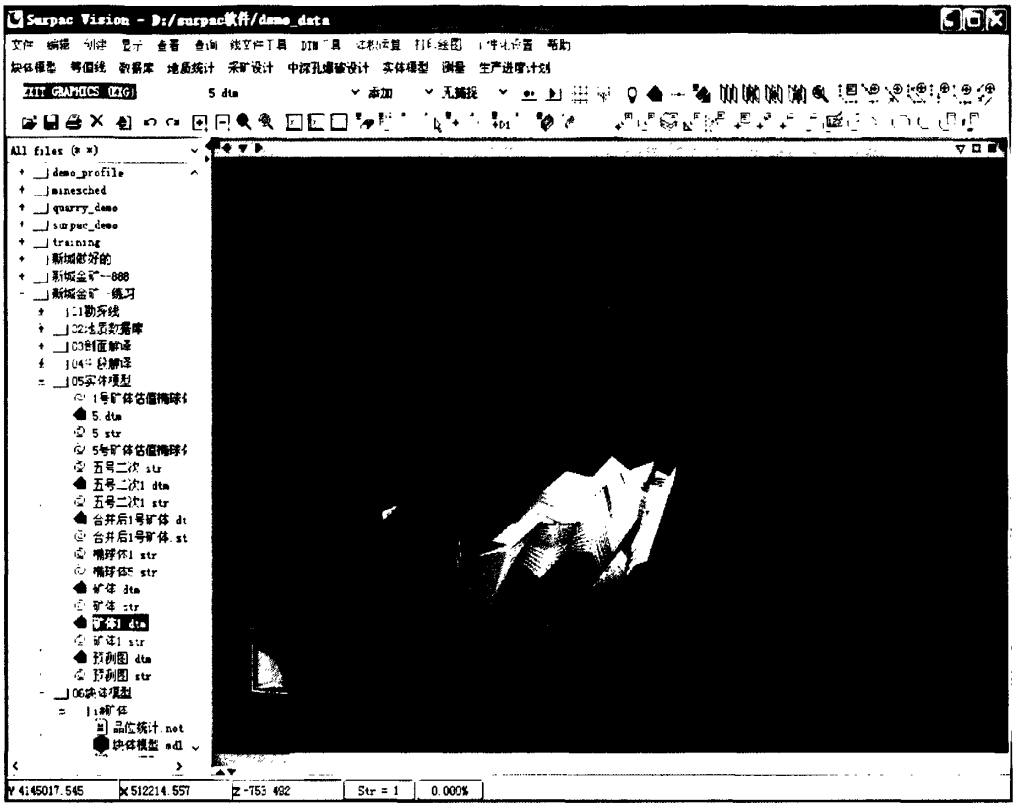


图 6-5 矿体实体模型

注：红色为Ⅰ号矿体，绿色为Ⅴ号矿脉群

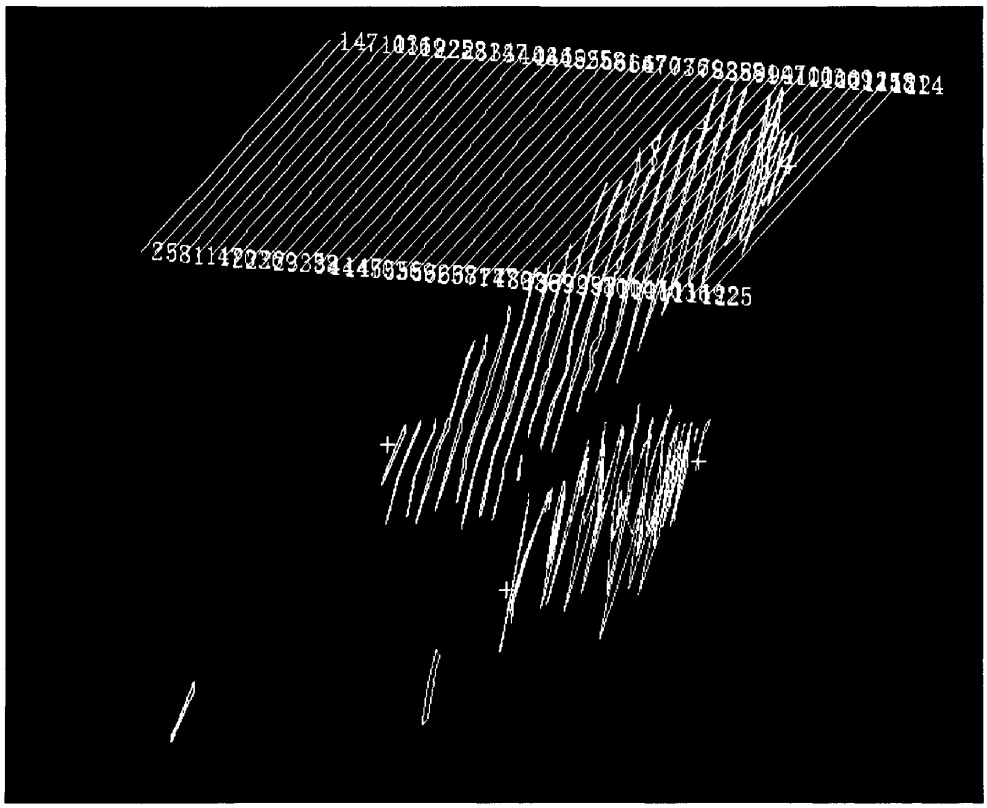


图 6-6 勘探线确定预测靶区位置

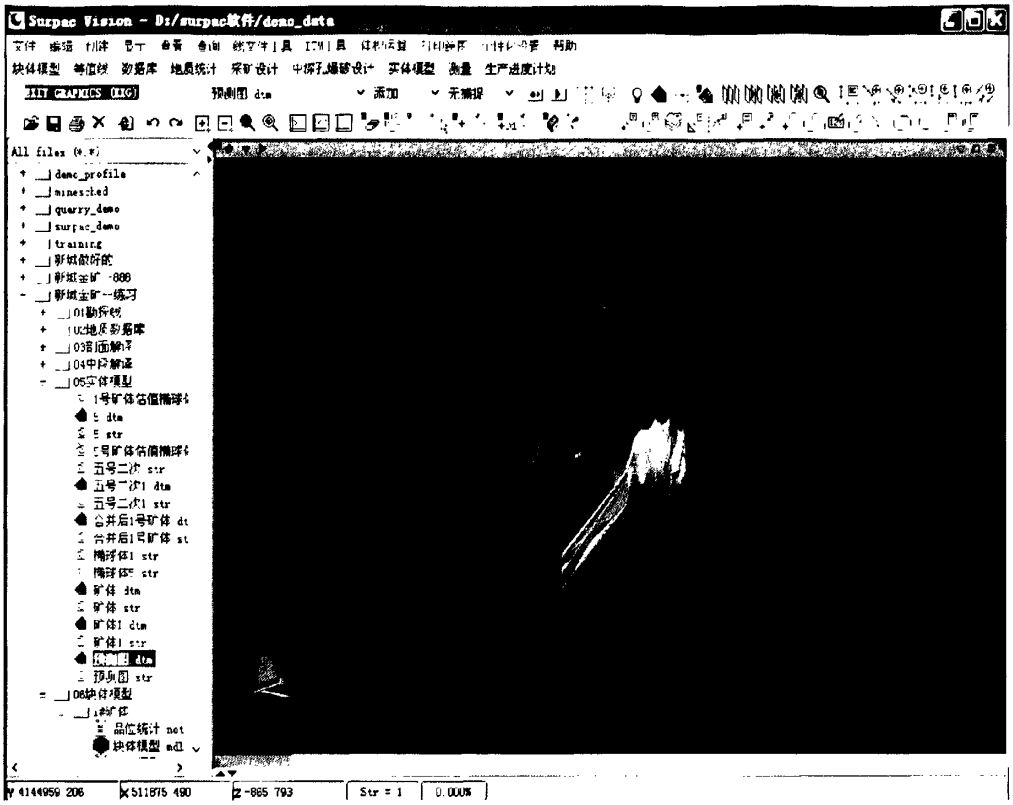


图 6-7 矿体三维定位预测图

注：红色为Ⅰ号矿体，其下部黄色部分为Ⅰ号矿体的预测靶区；
绿色为Ⅴ号矿脉群，其下部黄色部分为Ⅴ号矿脉群的预测靶区

图 6-6 通过勘探线确定Ⅰ号矿体和Ⅴ矿脉群的预测靶区位置。图 6-7 显示出矿体三维定位预测图。

三维定位预测靶区，是在成矿预测的基础上，三维空间定位矿体空间位置，而且要尽可能与矿体几何形态的空间展布特征相符合。在三维空间确切的勾绘预测靶区的空间位置、形态及产状特征。采用趋势外推法结合类比法。对已知矿体紧邻外延地段采用趋势外推法，稍远离已知矿体的地段，定位预测是参考已知矿体变化趋势上，结合类比区域内同类型矿体深部的变化特征预测靶区。

工程控制Ⅰ号矿体产出位于 147 勘探线—193 勘探线，-10m 中段—-630m 中段之间，矿体形态呈薄板状，矿体向南西侧伏，侧伏角 45° 左右，图 6-7 红色的部分。Ⅰ号矿体预测靶区，在图 6-7 中为Ⅰ号矿体向南西侧伏方向上，土黄色的部分，产出部位 113 勘探线—147 勘探线，-630 中段—-900m 中段之间，矿体与工程控制矿体侧伏方向一致，向南西侧伏，侧伏角 45° 左右，预测靶区的矿体形态呈薄板状。

工程控制Ⅴ号矿脉群赋存在Ⅰ号矿体的下部，与Ⅰ号矿体的垂直距离为 85m。Ⅴ号矿脉群产出位于 155’ 勘探线—195’勘探线，-430m 中段—-630m 中段之间，Ⅴ号矿脉

群形态呈透镜状，矿体向南西侧伏，侧伏角约为45°，图6-7绿色部分为Ⅴ号矿脉群。Ⅴ号矿脉群预测靶区，在图 6-7，为Ⅴ号矿脉群的侧伏方向上，土黄色的部分，产出部位 145’勘探线—155’勘探线，-630m 中段—-1000m 中段之间，矿体与工程控制Ⅴ号矿脉群侧伏方向一致，向南西侧伏，侧伏角约为45°。预测靶区的矿体形态总体呈板状展布，局部有透镜体。

结 论

本论文研究了新城金矿构造控矿，总结了矿体的成矿规律，利用大型矿山工程软件Surpac建立了矿体三维模型，采用趋势外推法和类比法相结合，实现了矿体三维定位预测。通过对新城矿区的研究主要取得如下一些认识。

1.构造控矿规律：

①断裂构造是新城矿区最主要的控矿因素，直接控制着矿床的形成及其空间分布。通过构造控矿规律的研究，揭示金矿床形成的机理、矿化富集及工业矿体富集部位，从而为成矿预测提供依据。

②断裂构造对成矿元素分布具有控制作用。利用李惠的地球化学方法在新城金矿的应用，得到元素含量高的地段均为构造变形强烈、岩石破碎强度大、蚀变交代强烈的部位，元素含量的峰值与矿体展布的中心一致。表明成矿元素及相关的微量元素是由成矿流体带入的，同时也表明断裂构造是成矿流体运移的通道和成矿流体富集的场所。

③断裂构造对矿体空间分布的控制。新城矿区主要矿体Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群在空间上的分布沿走向具有一定的似等距性。

④断裂构造对矿化局部富集具有控制作用。焦家断裂的多次叠加改造，与派生的次级断裂和密集节理带，共同构成了断裂破碎带。断裂破碎带是一个高渗透带和扩容带，成为成矿流体的运移通道和成矿流体汇聚的主要场所。

⑤断裂面的形态变化和矿化富集的控制作用。为了查明断裂面的三维形态变化与矿化富集的关系，用勘探线剖面图、中段平面图和工程的控制的矿体边界，统计出断裂距矿体的空间数据，对断裂面形态进行模拟和趋势分析。模拟结果，主断裂面在三维空间上总体呈凹凸变化的平面，矿体主要赋存在140勘探线到190勘探线之间，与矿区实际情况一致。Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群均产于断裂面的凹凸转换部位，即在断裂面的凹凸转换部位是有利的成矿区段。

⑥断裂对矿体形态、产状的控制。断裂控制了矿体的分布和矿化富集，还控制了矿体的形态和产状，在焦家主断裂面下盘的Ⅰ号矿体呈薄板状，它所处的构造部位为主断裂面产状变化较缓慢，变化梯度小的地段，从而使矿体成板状展布。Ⅴ号矿脉群处于主断裂的转折部位，断裂面产状变化较大部位，在水平方向上呈透镜体状产出。矿体具有向南西侧伏的特征，侧伏角在45°左右。

⑦断裂对围岩蚀变的控制。断裂控制蚀变岩带的空间分布，蚀变带总是沿主断裂面

呈带状展布，发育范围受到断裂破碎带控制，局部膨大与断裂破碎带的宽度保持一致。

2.矿体三维建模：新城矿区Ⅰ号矿体和Ⅴ矿脉群三维建模，收集新城金矿的工程控制数据和地质勘探数据，利用大型矿山工程软件 Surpac，建立新城金矿地质数据库，构建矿体实体模型，利用品位值建立矿体品位模型，在此基础上，采用地质统计法和距离幂次反比法进行品位估值和储量计算。

3.矿体的成矿规律：焦家断裂及其低序次构造控制矿体的产状，矿体具有走向北东，倾向北西，倾角 45° 左右，在剖面上具有向南西侧伏的规律。构造蚀变岩发育，特别是绢英岩化、绢云母化、强硅化、钾长石化糜棱岩、碎裂岩是矿体主要的赋矿岩石。构造控矿叠加交汇和产状由陡变缓部位，是矿体富集部位。

4.矿体三维定位预测：在地质理论应用和矿区钻孔数据的分析基础上，利用矿山工程软件 Surpac，采用趋势外推法和类比法，实现Ⅰ号矿体和Ⅴ号矿脉群靶区的三维定位预测。

由于本文涉及新技术、新方法的研究，论述中可能有不少疏漏的地方。再者本次研究对三维定位预测靶区只进行了初步尝试，预测靶区的矿体形态单一，有待进一步的完善。以下几个方面值得在今后的工作中加强：

1．该区研究程度很高，历年积累的资料非常丰富，但由于各家研究目的和任务不同，资料种类繁多，因此要综合利用已有资料。

2.多种地质体建模，建立矿体之外其他组成对象的立体模型，包括矿化空间模型、地层模型，蚀变带模型等，立体显示矿体与其它组成对象之间的空间关系。

3.三维的多元信息综合定位预测，结合地质场的数字化建模方法和空间分析法，建立矿化分布场、断层控矿作用场、岩性控矿作用场等场模型，利用空间分析和统计分析等手段，对矿化分布场、断层控矿作用场与岩性控矿作用场的空间关联关系进行分析，提取出可度量的地质控矿作用的成矿有利指标，得到成矿有利指标与矿化指标之间定量的空间相关关系，建立矿化数学模型，从而实现三维的多元信息的综合定位预测。

参考文献

[1] 吕古贤. 新城危机设计正文[R]. 科研报告 , 2007

[2] 周雷, 胶西北上庄金矿床控矿构造与元素地球化学特征[D]. 中国地质大学（北京） , 2009

[3] 山东省新城金矿Ⅴ号矿体地质详查报告[R]. 内部资料 ,1994

[4] 范永香, 高秋斌等著. 山东招远—掖县金矿带构造控矿规律研究[M]. 北京:中国地质大学出版社. 1993

[5] 宫润潭. 河西金矿控矿断裂及矿体预测[R]. 科研报告 , 1984

[6] 曹新志, 高秋斌, 徐伯骏等著. 矿区深部矿体定位预测的有效途径和方法研究[M]. 北京:中国地质大学出版社. 2004

[7] 新城矿区详细勘探地质报告[R]. 内部资料 ,1979

[8] 李俊英. 新城金矿床及焦家金矿带成矿规律[C]. 李俊英论文集 , 2002,(01):56-73

9] 李俊英. 新城金矿控矿构造及其成生应力场研究[C]. 李俊英论文集 , 2002,(01):114-118

[10] 吕古贤. 胶东半岛构造—岩相形式及玲珑—焦家式金矿的构造动力成岩成矿地质特征研究[D]. 中国地质科学院 , 1989

[11] 郭涛. 焦家金矿床构造地球化学及成矿动力学研究[D]. 中国地质大学(北京) , 1997

[12] 申玉科. 胶西北金矿集中区构造—蚀变网络研究[D]. 中国地质大学（北京）, 2006

[13] 周国发. 玲珑金矿田构造蚀变岩带及找矿预测研究[D]. 中国地质大学（北京）, 2009

[14] 陈衍景, Franco PIRAJNO, 赖勇等著. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. 岩石学报 , 2004,20(04):907-923

[15] Zhang Ximing, Wang Shuyi.Study on the heterogeneity of sand body reservoirs in Triassic braided delta, northern Tarim Basin; exemplified by Akekule-Daliya region. Experimental Petroleum Geology. 1997, 19(3) : 201-208

[16] 张均著. 隐伏矿体定位预测方法 以脉状金矿为例[M]. 北京:中国地质大学出版社. 2004

[17] 吕古贤等著. 构造物理化学与金矿成矿预测[D]. 地质出版社, 1995

[18] 孙丰月等著. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿[D]. 吉林人民出版社, 1995

[19] 杨兴科, 陈强, 张连昌著. 脆-韧性变形转换与动力成矿过程分析[A]. 第四届全国青年地质工作者学术讨论会论文集, 2000

[20] 毛先成. 三维数字矿床与隐伏矿体立体定量预测研究[D]. 中南大学 , 2006

[21] 李仲学, 李翠平, 李春民等著. 地矿工程三维可视化技术[M]. 北京:科学出版社. 2007

[22] 徐刚, 郑达兴, 温长顺. 胶东焦家断裂带与金矿的成生关系[J]. 地质力学学报, 1998,4(2):53-59

[23] 吕古贤, 孔庆存等著. 胶东玲珑-焦家式金矿地质[D]. 科学出版社（北京）, 1993

[24] 夏林. 胶东中生代金成矿期区域流体的构造物理化学研究[D]. 中国地质科学院, 2003

[25] Bierlein F P et alLi. Origin of hydrothermal Cu-Zn-Pb minerlization in the Olary Block, south Astralia: evidence from fluid inclusions and sulphur istopes[J]. 1996, 79(4): 281-305

[26] 范永香，周群辉. 山东焦家金矿床成矿地球化学特征及成矿机理[J]. 地球科学，1987,12(04):14-19

[27] 薛春纪等编著. 基础矿床学[M]. 北京:地质出版社. 2007

[28] 翟裕生等编著. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社. 1999

[29] 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京:地质出版社. 1978

[30] 王燕，卢作祥. 山东招掖金矿带焦家式金矿床的矿床分带[J]. 地球科学， 1998,13(02):54-56

[31] 吴立新，张瑞欣. 三维地学模拟与虚拟矿山系统[J]. 测绘学报，2002，31（01）：28-33

[32] 罗周全，刘晓红，苏家红等著. 基于 Surpac 的矿床三维模型构建[J].金属矿山，2006，(4) :33-37

[33] Surpac Vision 软件用户使用手册. 北京: Surpac Software International 国际软件公司中国. 2005

[34] 白芸. Surpac 在内蒙古阿荣旗钼矿中的应用[D]. 中国地质大学（北京），2008

[35] 董青松. Surpac 在大西沟金矿勘探中的应用[D]. 中国地质大学（北京），2008

[36] 冯超东，杨鹏，胡乃联. 克立格法在 Surpac 软件中的实现及应用[J]. 北京科技大学，2007，(04) :55-60

[37] 陈佩佩，叶勇，张守仁. 矿山工程软件 Surpac Vision 在煤矿中的应用[J]. 煤炭科学技术，2002，30(03):4-6

[38] Barry J. Construction of 3D delaunary triangulations using local transformations. Comupter Aided Geometric Design, 1991, (8) :123-142

[39] Shi W Z. Development of a hybrid model for three-dimensional GIS. Geo-Spatial Information Science, 2000, 3(2) :6-12

[40] 李俊英. 焦家金矿带矿体侧伏规律研究[C]. 李俊英论文集，2003,(01):53-55

[41] 王永祥. 黑龙江乌拉嘎金矿深部及周边隐伏矿体定位预测[D]. 吉林大学，2006

[42] Wu Qiang, Xu Hua. An approach to computer modeling and visualization of geological faults in 3D [J]. Computer & Geoscience , 2003,29(4) :503-509

[43] 王永祥. 大姚铜矿小河—石门坎深部隐伏矿床定位预测研究[D]. 昆明理工大学，2005

[44] Breuning M. An approach to the integration of spatial data and system for 3D geo-information system[J]. Computer & Geoscience ,1999,25(1) : 39-48

[45] 周智勇，陈建宏，周科平. Surpac Vision 软件在矿床建模中的应用[J]. 矿业工程，2004，2（04）：56-59

[46] 郑利岩. 基于三维趋势面分析的储层参数预测研究[D]. 吉林大学，2005

[47] 王龙振，赵海. 对胶东金矿床寻找隐伏矿体的启示—以新城金矿找矿实践为例[J]. 黄金科学技术, 2008，16（04）：25-29

[48] 马田生. 山东焦家金矿床深部成矿预测研究[D]. 成都理工大学，2004

[49] 刘晓玮，秦德先，伍伟等著. 基于 Surpac 的某矿体三维数学模型[J]. 矿业快报，2007，4（04）：18-21

[50] 范永香，高秋斌等著. 山东招远-掖县金矿带构造控矿规律研究[M]. 北京:中国地质大学出版社.

1993

[51] 龙昱著. 矿体定位预测的地质标志与方法[M]. 北京:中国地质大学出版社. 2002

[52] 朱裕生, 肖克炎, 王全明等著. 阿舍勒铜锌矿床及三维定位预测[M]. 北京:地质出版社. 2002

[53] 李惠, 张文华著. 胶东大型金矿床的地球化学分带特征[J]. 贵金属地质, 1999，8（04）: 217-223

[54] 李惠, 张国义, 禹斌著. 构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 地质出版社, 2006

[55] 吕古贤, 孔庆存著. 胶东玲珑—焦家式金矿地质[M]. 科学出版社, 1993

[56] 付洋, 王建新, 王超等著. 吉林集安古马岭金矿区控矿条件与靶区预测[J]. 黄金地质, 2010，4（31）: 18-23

[57] 李晓利, 谢玉玲, 陈伟等著. 基于 Surpac 软件的煤矿资源可视化储量计算[J]. 煤炭工程, 2010，3: 112-116

[58] 王庆飞, 万丽, 刘学飞著. 典型构造蚀变岩型金矿远景资源量数学模型与预测[J]. 矿床地质, 2007，3（26）: 341-346

[59] 湛胜, 徐备, 黄少英著. 信阳-周党地区龟梅断裂带的右行剪切及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004，4（28）: 413-418

[60] 李章林, 王平, 张夏林著. 距离幂次反比法的改进与应用[J]. 金属矿山, 2008，4: 88-93

[61] 王志民著. 分形理论在距离幂次反比法估算矿体品位中的应用[J]. 中国锰业, 1997, 5(15): 19-24

[62] 吕古贤, 郭涛, 刘杜鹃著. 信阳-周党地区龟梅断裂带的右行剪切及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004，4（28）: 413-418

[63] 吴立新, 徐磊, 车德福著. 地层本体及其在大区域钻孔数据集成中的应用[J]. 武汉大学学报, 2008，2（33）:144-149

[64] 张连昌, 姬金生, 杨兴科等著. 新疆西滩金矿床金品位分维D值及其意义[J]. 西安工程学院学报, 1999，4（21）: 11-14

[65] 王功文, 郭远生, 杜杨松等著. 基于 GIS 的云南普郎斑岩铜矿床三维成矿预测[J]. 矿床地质, 2007，6（26）: 651-659

[66] 周智勇. 基于分形与地质统计学理论的矿床建模技术研究及实践[D]. 中南大学 , 2005

[67] 陈兴海. 刚国（金）KIMPE 铜钴矿床研究与三维成矿预测[D]. 合肥工业大学 , 2007

[68] 吴立新, 陈学习, 史文中著. 基于GTP（广义三棱柱）的地下工程与围岩一体化真三维空间构模[J]. 地理与地理信息科学, 2003，6（19）: 1-6

[69] 杨耀忠著. 内部被多条断层切割的复杂断块油藏地质建模研究 [J]. 科技通报, 2003，3（19）:144-149

[70] 胡青. 云南个旧东区大白岩勘查区大比例尺隐伏矿体三维成矿预测[D]. 中国地质大学（北京）, 2008

[71] 李艳, 王恩德, 鲍玉斌等著. 基于钻孔数据的矿体三维可视化研究与实现[J]. 沈阳工业大学学报, 2005，4（27）: 418-422

攻读学位期间研究成果

攻读学位期间发表的论文：

[1] 董敏, 杨兴科, 吕古贤等. 基于 Surpac 胶东金矿新城矿体三维建模研究[A].李四光地质科学奖成立 20 周年学术研讨会会议论文摘要集.2009:355-356

[2] 杨兴科, 晁会霞, 董敏等.鄂尔多斯盆地东部紫金山岩体特征与形成的动力学环境-盆山热力和岩浆活动的深部作用典型实例剖析[J]. 大地构造与成矿学. 2010,2(34)

[3] 何虎军, 杨兴科, 董敏等. 数字化地质填图理论及技术方法研究[A]. 2008 年全国博士学术论坛（地球系统科学与可持续发展）论文摘要集. 2008: 457-459

[4] 陈小龙, 杨兴科, 董敏等. 新城金矿深部节理统计分析[A].李四光地质科学奖成立 20 周年学术研讨会会议论文摘要集.2009:96-100

攻读学位期间参与的主要科研项目及野外实践：

[1] 山东玲珑矿田和新城金矿预测新技术、新方法示范研究. 项目受国家自然科学基金项目（40972061）、危机矿山新技术方法示范项目（200799095）支持. 2008.9~2010.6. 构造控矿和矿体三维定位预测

[2] 长江中下游基底结构与导矿-控矿要素研究. 中国地质调查局下达的国土资源大调查增量项目. 工作项目编码：1212010813051. 2007.7~2010.12. 长江中下游区域 1:75 万综合构造岩相编图和综合研究

[3] 新疆哈密市西凤山金矿构造原生晕研究. 哈密金博润金矿公司. 2008.12~2009.6 . 化探采样利用化学原生晕方法进行矿产预测

[4] 中国盐湖城旅游区总体规划及设计. 格尔木市旅游局. 2007.12~2008.3.项目报告编写和项目汇报

[5] 安徽巢湖野外实践. 2009.7~2009.8 .地质填图方法学习

[6] 西安地调中心. 2009.5~2009.7 . 建立西北五省金属矿产数据库

图版说明

图版 I

I-1 焦家主断裂面（新城矿区）

I-2 多组节理（新城矿区）

I-3 黄铁绢英岩化带（新城矿区矿化带）

I-4 黄铁矿充填（新城矿区）

I-5 强钾化带（新城矿区）

I-6 弱钾化带（新城矿区）

I-7 方解石脉（新城矿区）

I-8 石英透镜体（新城矿区）

图版 II

II-1 X002 斑晶结构（新城矿区采样样品）

II-2 X005 上部为花岗岩，分界面下为灰色石英，下为块状黄铁矿（新城矿区采样样品）

II-3 X005 黄铁矿中红色钾化（新城矿区采样样品）

II-4 X005 黄铁矿成矿状分布（新城矿区采样样品）

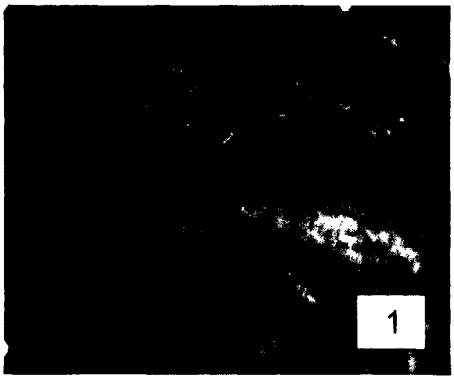
II-5 X006 黄铜矿被错位（新城矿区采样样品）

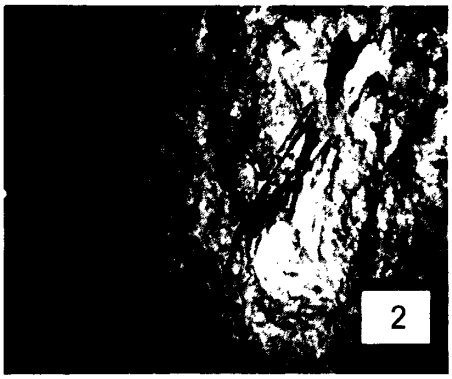
II-6 X008 浸染状黄铜矿（新城矿区采样样品）

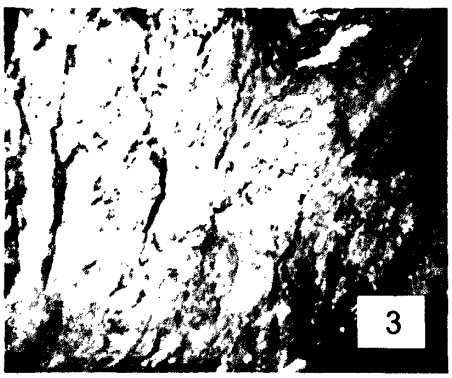
II-7 X013 两边为花岗岩，中间为黄铁矿的脉体（新城矿区采样样品）

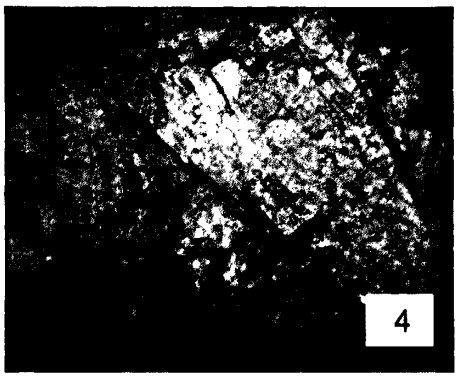
II-8 X013 花岗岩中有与分界面平行的细脉（新城矿区采样样品）

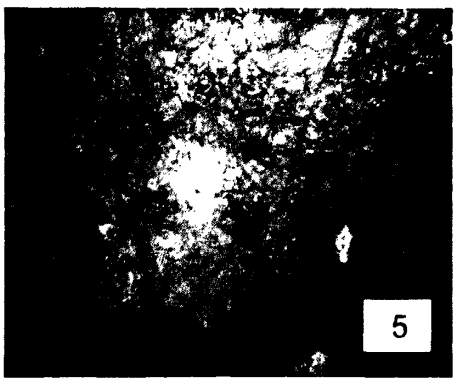
图版 I

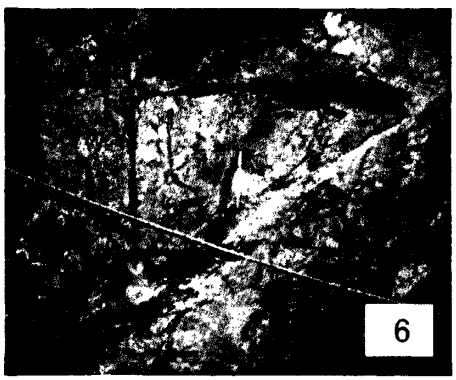


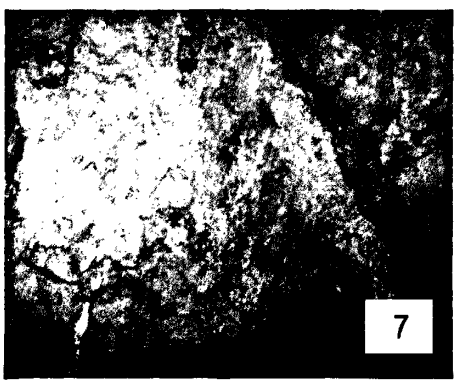


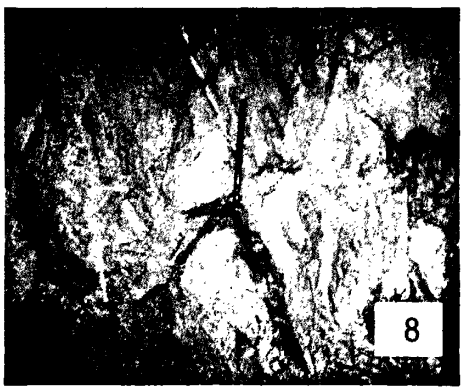




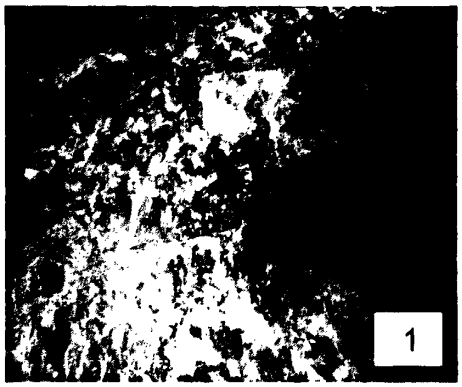


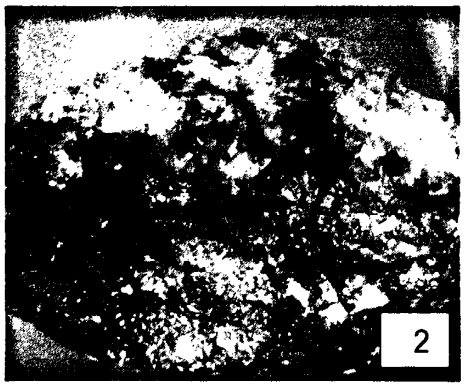


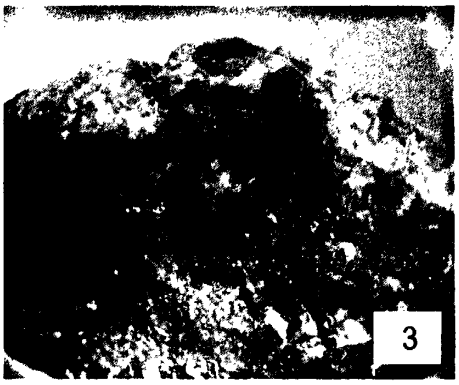


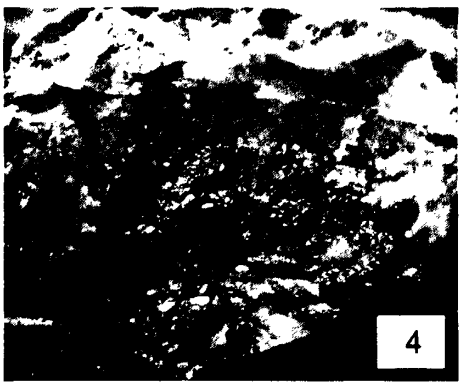


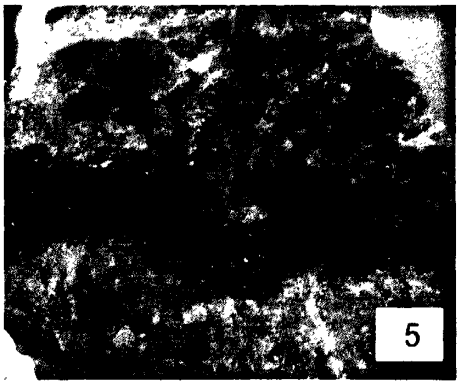
图版 II

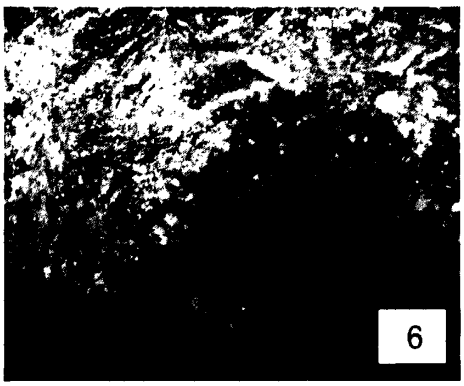




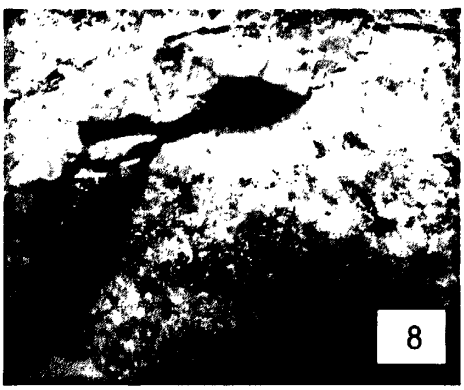












致谢

在论文完成之际，我忠心地感谢杨兴科教授，在我论文的选题，研究过程，以及后期评审过程中，给予我细心地指导。论文完成与以下学者具体指导帮助密不可分，吕古贤研究员鼓励我对新城矿区的区域地质研究，新城矿区属于“焦家式”黄铁绢英质蚀变岩型金矿，指导我在工作区范围对围岩蚀变方法应用。郭涛副研究员，指导我在三维建模方面的研究。申玉科工程师在山东新城、玲珑、三山岛矿区亲自指导我进行实际野外工作。晁会霞老师指导我野外及室内工作。何虎军老师指导我的地质建模研究。雷万杉老师指导我进行断裂趋势面研究。

文中引用的许多基础地质资料是山东省地矿局，特别是山东地矿局第六地质队的多年工作成果，野外工作及室内研究得到新城金矿领导和地质人员的大力协作，在此特别感谢赵海高级工程师，李俊英总工、李惠教授和彭永明工程师。

在长安大学资源学院学习、生活中，感谢学院党委书记杜福元老师等领导给我的指导和帮助，感谢栾卫东副教授和屈茂稳副教授，对我学业上的支持。

感谢同门陈小龙、殷卓、高雅宁、在野外及室内工作研究中，给予我许多学习上的帮助。感谢师兄妹，李万玲、屈翠侠、魏翔、张晓龙、张康、李希、褚娜娜、李煜航、方杰、李永寿、王丽、张宪芳。感谢项目组的同仁，楚克磊、王超凡、李颖、周国发、彭欣、任宏、吕承训、付旭等。感谢生活中的好友，董会、李宏、佟丽莉、许辉等。感谢他们对我无私的指导和帮助。我们是生活中的好友，工作上的搭档，一起克服困难，分享快乐，研究生三年的收获是我一生的财富。

特别感谢我的父母，家人和朋友对我的关怀和帮助，他们对我的一直以来的支持，是我一生追逐梦想、不断努力、进步的动力源泉。

最后对所有关心我，爱护我的人们，送上我最真挚的感谢和致意！