

胶东半岛乳山邓格庄金矿带成矿期次探析

周进伟*, 兰占军, 计 煊

河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2025年4月10日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月31日

摘 要

邓格庄金矿带是胶东地区牟平-乳山一带的典型的石英脉型金矿带, 其具有较高的金品位与储量, 是研究胶东石英脉型金矿十分理想的场所。本研究将以邓格庄金矿带的成矿期次为研究方向, 通过野外考察、镜下观察、能谱与电子探针数据分析等方法探究区域的多阶段成矿机制, 同时为理解邓格庄金矿带的成矿机理以及找矿勘探提供必要的证据。研究表明, 邓格庄金矿带成矿期次按时间先后划分为: (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-碳酸岩阶段。其中, 黄铁矿是主要载金矿物, 石英-黄铁矿阶段与多金属硫化物阶段是主要的金富集阶段。

关键词

邓格庄金矿带, 石英脉型金矿, 成矿期次

Analysis of Metallogenic Phases in the Denggezhuang Gold Belt, Rushan, Jiaodong Peninsula

Jinwei Zhou*, Zhanjun Lan, Xuan Ji

College of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: Apr. 10th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

The Denggezhuang Gold Belt in the Muping-Rushan area of Jiaodong Peninsula represents a typical quartz-vein-type gold deposit system characterized by high gold grades and substantial reserves, making it an ideal subject for studying quartz-vein-type gold deposits in this region. This study investigates the metallogenic stages of the Denggezhuang Gold Belt through field investigations, microscopic observations, energy dispersive spectroscopy, and electron probe microanalysis to eluci-

*通讯作者。

文章引用: 周进伟, 兰占军, 计煊. 胶东半岛乳山邓格庄金矿带成矿期次探析[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(5): 848-857.
DOI: 10.12677/ag.2025.155081

date the multi-stage mineralization mechanisms and provide critical evidence for understanding ore-forming processes and exploration guidance. The results reveal four distinct metallogenic stages in chronological order: (I) pyrite-quartz stage, (II) quartz-pyrite stage, (III) polymetallic sulfide stage, and (IV) quartz-carbonate stage, with pyrite as the primary gold-bearing mineral and stages II-III representing the main gold enrichment phases.

Keywords

Denggezhuang Gold Belt, Quartz-Vein-Type Gold Deposit, Metallogenic Stages

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

随着新一轮找矿突破战略行动的开始，各种矿产资源的勘探与开发已经成为国家的重大战略目标，金矿在经济、军事等方面的重要角色使得金资源勘探成为国家发展的重中之重。胶东地区是我国最大的金矿集中区，在这样的战略背景下，胶东金矿的研究就显得尤为重要。

胶东地区区域构造演化经历了多个时期。前人研究得出胶东地区经历了华北克拉通与扬子板块碰撞、太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏、太平洋板块回撤等多阶段的构造演化事件[1]。其中，华北克拉通与扬子板块碰撞发生在晚二叠世、全面碰撞发生在三叠世时期，该阶段形成了区域性的大断裂和褶皱系统；中生代中晚期，太平洋板块俯冲引起岩石圈增厚与强烈的岩浆活动，该阶段形成了广泛分布的燕山期花岗岩体和 NE-NNE 向断裂系统；在早白垩世时期，在太平洋板块后撤的影响下，华北克拉通板块受到伸展构造应力的控制，岩石圈减薄，胶东地区大规模金沉淀事件主要发生在该时期[2]。此外，前人在 U-Pb 锆石年代学的研究将成矿期限定在 130~110 Ma，成矿温度的研究也将胶东金矿根据相态成分与组合关系等内容将原生流体包裹体分为三种类型：I类为 H₂O-CO₂-NaCl ± CH₄ 包裹体，II类为 CO₂ 气液两相包裹体，III类为水溶液包裹体，包裹体研究成果展示了包裹体的捕获温度即矿床的成矿温度，成功将成矿温度限定在 260℃~320℃ [3]。

胶东地区是我国最大的金矿集区，其金矿床可分为蚀变岩型与石英脉型两大类。其中，石英脉型金矿(如玲珑、邓格庄金矿带)以陡倾石英脉为载体，受次级断裂控制，成矿过程受多期次影响，是揭示流体演化与构造机制耦合的关键研究对象。尽管石英脉型金矿在成矿机制、地球动力学背景等领域已取得系统性突破(如表 1)，但对成矿期次的精细划分可能仍存在短板。

Table 1. Research status of Jiaodong gold deposits
表 1. 胶东金矿研究现状

石英脉型金矿研究内容	特征描述
控矿构造	NNE-NE 向区域断裂及其次级断裂
地球动力学背景	区域伸展构造背景，具体来说，金矿成矿的动力学背景与华北板块与扬子板块的碰撞以及太平洋板块的俯冲机制有关
赋矿围岩	主要以侏罗纪玲珑型花岗岩、白垩纪郭家岭型花岗岩和古元古代变质岩为主
矿物组合	矿石组合以金和黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等多金属硫化物为主
围岩蚀变	钾化、硅化、绢云母化、黄铁矿化
金的形态	晶隙金、包体金为主，少量粒间金和裂隙金

邓格庄金矿带作为牟平-乳山成矿带的典型代表,与其它石英脉型金矿相比,其具备了胶东石英脉型金矿的所有成矿期次,具有很强的代表性。其 NNE 向压扭性断裂系统、玲珑型花岗岩赋矿围岩及多阶段热液成矿序列,为揭示石英脉型金矿可能在太平洋板块俯冲后撤引发的伸展背景下的流体叠加引起的多阶段成矿机制提供了关键证据。本研究通过对邓格庄金矿带野外穿切关系的解析、显微岩相学观测及能谱分析,系统揭示了该矿带多阶段金沉淀的时空演化规律,为完善胶东地区石英脉型金矿的成矿期次提供完整的理论框架。

2. 区域地质特征

邓格庄金矿带地处牟平-乳山成矿带。区内出露的地层较为简单,主要为古元古界荆山群,多呈现包体出露并零星分布于侵入岩中,区内构造发育,以脆性断裂为主,NE-NNE 向断裂构造最为发育(如图 1)。邓格庄金矿带内发育有断层泥、煌斑岩脉、石英脉最为常见,并被挤压破碎,说明多期多活动特点。

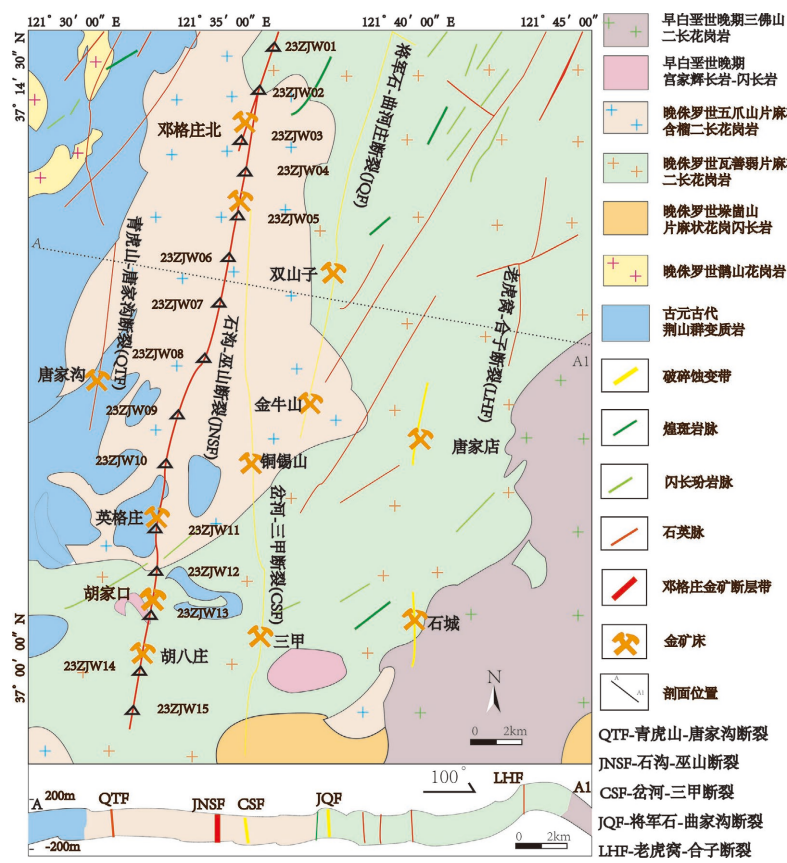


Figure 1. Geological Sketch Map of the Denggezhuang Gold Belt, Rushan, Jiaodong Peninsula [4]
图 1. 胶东乳山邓格庄金矿带地质略图[4]

花岗岩是是邓格庄金矿带最重要的赋矿围岩,邓格庄金矿带约 77%的金矿床赋存在玲珑型花岗岩体中[5],玲珑型花岗岩主要分布于胶东地区西北部以及东部地区,主要岩性以二长花岗岩和黑云花岗岩为主,玲珑型花岗岩形成于中生代晚侏罗世至早白垩世,与华北克拉通事件密切相关。玲珑型花岗岩属钾质花岗岩、高钾钙碱性岩系列,富集轻稀土元素(LREE)和大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE)[6]。前人已经对胶东地区的玲珑型花岗岩年龄做了大量的测定工作,其具体的年龄测定数据(如表 2)所示。

Table 2. Age data and sources of Linglong-type granite
表 2. 玲珑型花岗围岩年龄数据及其来源

玲珑型花岗围岩	时间(Ma)	文献来源
大磨曲家金矿围岩	160.0 ± 1.0	[7]
望而山金矿围岩	149.0 ± 1.3	[7]
谢家沟金矿围岩	160.5 ± 1.3	[7]
夏甸金矿围岩	159.5 ± 0.9	[8]
唐家沟金矿围岩	157.7 ± 0.82	[7]
昆嵛山岩体	155.8 ± 2.1	[9]

由上表可知，玲珑型花岗岩的年龄数据限定在 160 Ma~149 Ma 之间，应为玲珑型花岗岩岩浆结晶的主要时期，形成于晚侏罗世，物质来源以华北增厚下地壳的部分熔融为主。本研究在前人研究的基础上，做了对比实验，选取邓格庄金矿带赋矿围岩的锆石进行定年处理，并将数据进行整理，做出(如图 2)所示协和图，研究发现，邓格庄金矿带的赋矿围岩锆石 U-Pb 年龄集中在 155 Ma 的时间，证明邓格庄金矿带的赋矿围岩类型主要为玲珑型花岗岩。

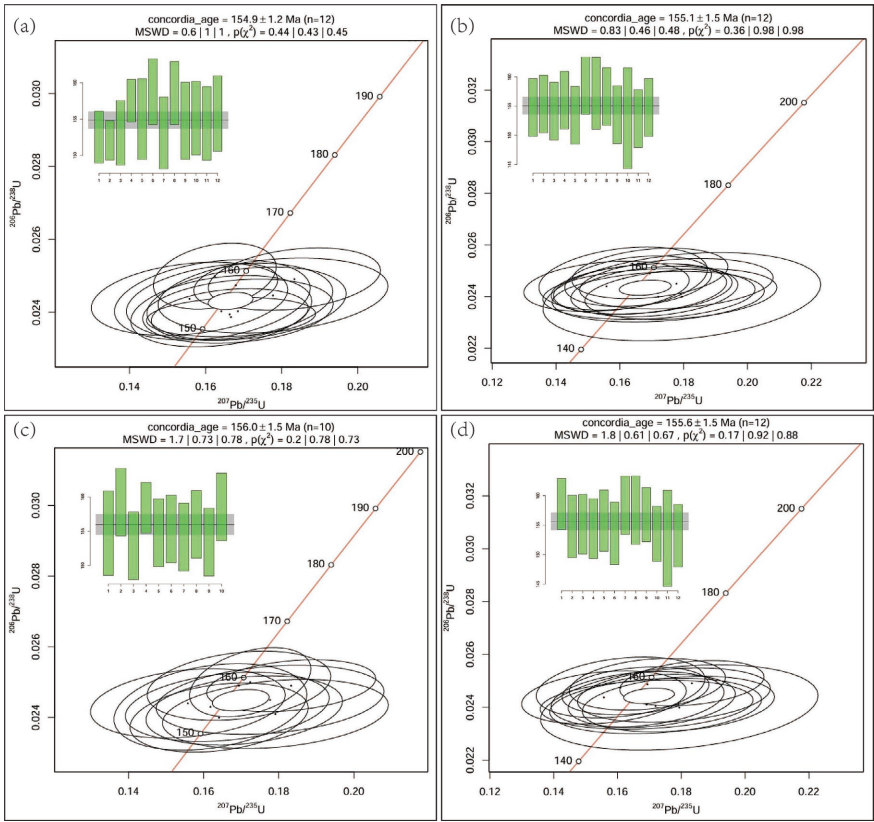


Figure 2. Concordia diagram of Zircon U-Pb Ages for Ore-Hosting Wall Rocks in the Denggezhuang Gold Belt. (a) 24ZJW02-2 Age Coordination Graph; (b) 24ZJW07-1 Age Coordination Graph; (c) 24ZJW08-1 Age Coordination Graph; (d) 24ZJW09-1 Age Coordination Graph
图 2. 邓格庄金矿带赋矿围岩锆石 U-Pb 年龄协和图。(a) 24ZJW02-2 年龄协和图; (b) 24ZJW07-1 年龄协和图; (c) 24ZJW08-1 年龄协和图; (d) 24ZJW09-1 年龄协和图

郭家岭型花岗岩主要分布胶西北地区，石英脉型金矿约 10%的赋矿围岩以郭家岭型花岗岩为主，其岩性主要为花岗闪长岩和二长花岗岩。郭家岭型花岗岩属于 Ba-Sr 花岗岩，具有高 SiO₂、K₂O 和总碱量、Sr、Ba 和 LREE 含量，低 HREE 和 HFSE 含量，以及不显著的 Eu 异常[2]。郭家岭型花岗岩被认为是幔源岩浆和壳源岩浆混合后经分异作用而成的熔深型花岗岩类，属于结构和成分双演化的侵入岩系列，具有阶段性、渐进性和一定程度旋回性的特点，且演化时间不同[10]。在对郭家岭型花岗岩年龄数据进行总结的过程中，研究人员对其进行了多种方式的测年，其具体的测年方式及数据(如表 3)所示。

Table 3. Age data and sources of Guojialing-type granite
表 3. 郭家岭型花岗岩围岩年龄数据及其来源

郭家岭型花岗岩围岩	年龄(Ma)	数据来源
仓上岩体	131 ± 1	[11]
三山岛岩体	129 ± 1	[12]
新城岩体	128 ± 1	[11]
郭家岭岩体	125.4 ± 2.2	[13]

由上表可知，郭家岭型花岗岩年龄数据限定在 129~131 Ma 之间，应为郭家岭型花岗岩岩浆结晶的主要时期。邓格庄金矿带中赋矿围岩年龄为 130 Ma 的围岩年龄出现较少，可能与区域主体赋矿围岩岩性以及挑选的样品有关。

3. 成矿期次解析

为了准确描述邓格庄金矿带成矿期次，本文计划从野外观察与镜下观察两方面进行，野外观察是研究邓格庄金矿带成矿期次的基础，通过野外实地观察邓格庄金矿带的野外地质特征，重点观察其矿物组合，矿物脉体的穿插关系，进而总结出矿物形成的先后顺序，其野外研究成果也将为后续实验室分析工作做准备。

野外观察时，选取的金矿要有代表性，要以能完整展现邓格庄金矿带特征的金矿为主，本研究在邓格庄金矿带选取了 15 个金矿点进行仔细地研究。对各金矿点进行产状量取、剖面绘制、野外地质特征记录等，动态分析成矿期次，必要时结合地球物理与地球化学数据辅助验证，确保研究过程科学严谨、成果可靠，最终服务于成矿期次解析与资源勘查实践。通过对矿脉和含矿样品的详细观察，按照矿物穿切关系，共生组合特征，初步将成矿热液活动划分为四个阶段，从早到晚依次为 I、II、III、IV 阶段。

野外观察发现，乳白色石英常常穿切在较早的花岗岩中，表明乳白色石英的形成晚于赋矿围岩(约 155 Ma)；烟灰色石英包裹乳白色石英，表明乳白色石英形成早于烟灰色石英；黄铁矿脉包裹乳白色石英，表明黄铁矿形成于乳白色石英之后；含黄铜矿的多金属硫化物在野外常常表现为与烟灰色石英共生，而烟灰色石英包裹黄铁矿细脉，表明烟灰色石英与硫化物形成于同一时期且共同形成于黄铁矿之后；碳酸盐细脉常常穿切石英等脉体且包裹黄铁矿、黄铜矿等多金属硫化物脉，表明碳酸盐矿物是金成矿阶段的最后一个阶段(如图 3)，由此，本文按照矿物的穿切特性、矿物共生组合特征，将矿物初步划分为(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。四个阶段指示邓格庄金矿带金沉淀具有多期多阶段的特征。

为进一步验证按照野外观察总结得到的金沉淀的四个阶段是否合理以及各金成矿阶段的特征。本研究采集相对应各阶段的矿物样品并对其进行岩相学特征的观察，得到各成矿阶段的主要矿物组成，为明确得到各阶段矿物特征及物质组成情况。本文利用徕卡显微镜对矿物的微观结构、晶体形态、粒度等特

征进行了详细观察, 各成矿阶段分析结果如下。

能谱分析也是实验分析的必要环节, 能谱分析可以快速得到各元素的相对含量。本研究选取镜下可清晰识别的典型金属矿物(如黄铁矿、黄铜矿等)进行系统分析。利用高分辨热场发射岩石组构分析仪 (SEM-EDS-EBSD), 在 30 KV 工作电压、70 μ A 工作电流、9.6 mm 工作距离及高真空模式下, 重点观测矿物核部、裂隙及浸染状金属矿物分布特征。通过测定元素相对含量并采集 BSE 背散射电子图像, 综合解析金的富集部位空间分布规律及矿物共生组合特征(如硫化物 - 自然金共生序列), 以揭示成矿过程中元素迁移与沉淀的微观机制。能谱分析结果表明, 黄铁矿是邓格庄金矿带的主要特征矿物, 多金属硫化物次之, 金元素相对含量较高的部位集中黄在铁矿、黄铜矿等金属的核部。由此, 本文明确了邓格庄金矿带四个成矿阶段并得出黄铁矿等多金属硫化物在金沉淀的过程中起着决定性作用。通过镜下观察与能谱分析对比各成矿阶段特征(如图 3)所得结果如下:

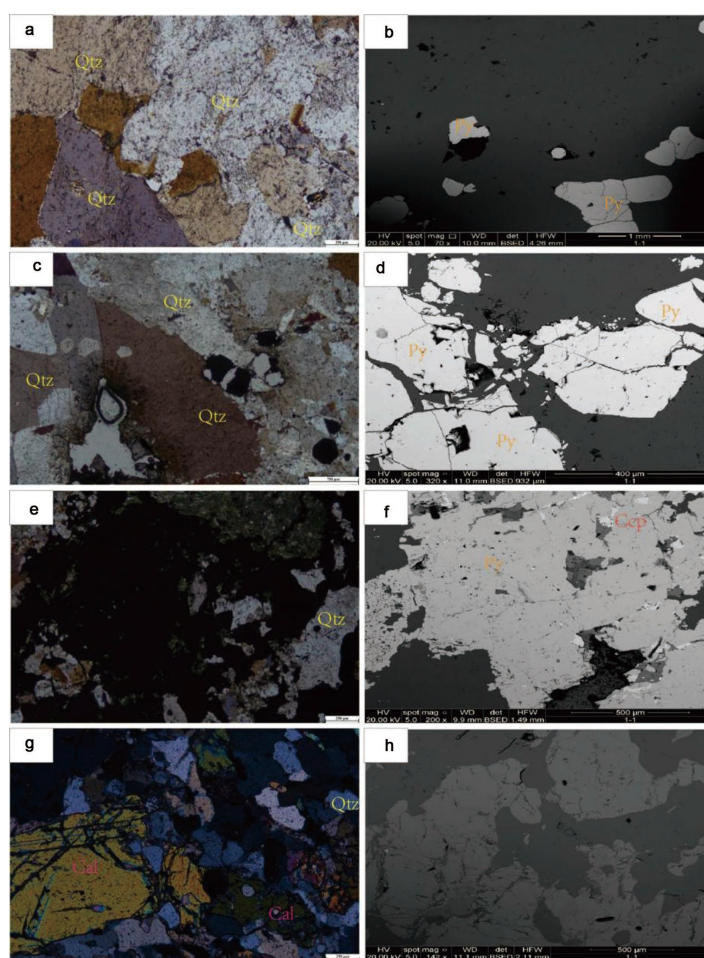


Figure 3. Comparative diagram of the four stages of gold precipitation. (a) Photomicrograph of the Pyrite-Quartz Stage; (b) BSE image of the Pyrite-Quartz Stage; (c) Photomicrograph of the Quartz-Pyrite Stage; (d) BSE image of the Quartz-Pyrite Stage; (e) Photomicrograph of the Polymetallic Sulfide Stage; (f) BSE image of the Polymetallic Sulfide Stage; (g) Photomicrograph of the Carbonate Stage; (h) BSE image of the Carbonate Stage

图 3. 金沉淀四个时期对比图。(a) 黄铁矿 - 石英阶段镜下照片; (b) 黄铁矿 - 石英阶段 BSE 图像; (c) 石英 - 黄铁矿阶段镜下照片; (d) 石英 - 黄铁矿阶段 BSE 图像; (e) 多金属硫化物阶段镜下照片; (f) 多金属硫化物阶段 BSE 图像; (g) 碳酸盐阶段镜下照片; (h) 碳酸盐阶段 BSE 图像

(I) 黄铁矿 - 石英阶段: 该阶段发生于金成矿的早期阶段, 镜下观察发现, 该阶段主要以石英为主, 见少量黄铁矿, 石英粒度较大, 以自形、半自形晶为主, 镜下黄铁矿呈零星分布, 镜下黄铁矿裂隙发育, 符合该阶段处于金沉淀的早期阶段的特征。野外观察发现, 该阶段矿物确以石英为主, 只在矿物表面发现有少量黄铁矿; (II) 石英 - 黄铁矿阶段: 该阶段黄铁矿与石英含量明显增高, 镜下观察发现, 石英以自形、半自形晶为主, 黄铁矿颗粒较大, 具有自形 - 半自形块状结构, 形态多为立方体, 少量为五角十二面体, 镜下也可观察到黄铁矿集中分布且具有脉状分布特征; (III) 多金属硫化物阶段: 该阶段以石英、黄铁矿以及黄铜矿为主, 镜下观察发现, 黄铜矿与黄铁矿以中细粒结构为主, 黄铜矿在镜下有亮的金属光泽, 黄铜矿等多金属矿物常常包裹黄铁矿且与烟灰色石英共生, 这与野外观察具有一致性; (IV) 石英 - 碳酸盐阶段: 该阶段主要以碳酸盐矿物(方解石、白云石)为主, 而黄铁矿等金属矿物却相对较少。

尽管已经对邓格庄金矿带成矿期次有了更加深刻且细致的研究, 但上述实验只能对邓格庄金矿带中含矿样品中元素进行半定量、半定性的分析处理, 实验有其局限性, 为更加准确地对邓格庄金矿带元素进行定量与定性的分析处理, 本研究还将对其进行电子探针的分析处理。

对载金薄片进行全面拍照后, 在各薄片选取相应的点位后, 在 JXA-8230 仪器中进行打点处理, 元素分析测试条件为: 加速电压 20 kV, 电流 20 nA, 束斑直径 1 μm 。检出限一般为 1×10^{-6} , 可测从 Be-U 元素, 适用于高精度的定量分析。在分析过程中, 为了确保分析结果的准确性, 在实验过程中还需要对元素含量进行校正, 以此次校正为例, 在校正中使用标准样品如使用含量已知的标准样品进行校正, 选择一个高含量元素(如 S)进行归一化处理, 以减少仪器漂移的影响, 最终确保校正后的元素含量与标准样品的理论值一致。在实验过程中分别选取块状黄铁矿、浸染状黄铁矿的核部、边部及裂隙处, 得到数据进行归类分析处理。

在排除薄片本身的影响(即 Si 元素)外, 实验分析得出, 第一阶段各元素含量几乎为零, 表明该阶段不是邓格庄金矿带的主要金沉淀时期。第二、三阶段除黄铜矿等多金属硫化物阶段的 Fe 元素含量相对较低外, 在石英 - 黄铁矿中 Fe 元素与 S 元素有一个相对稳定的数值, 在分析结果中, 将与金沉淀形成相关的元素提取出来, 进行元素分析, 总结得出, 当矿物中 Fe 元素与 Cu 含量较高(即黄铁矿与黄铜矿含量)较高时, 其 Au 元素含量也相对较高, 而第四阶段 Fe 元素含量极少则 Au 元素含量也相对较低且黄铁矿相较于其他多金属硫化物有较高的金元素含量。由此得出, 邓格庄金矿带中黄铁矿与多金属硫化物是主要的载金矿物且黄铁矿相较于其他金属硫化物有更高的载金能力。第四阶段的元素分析结果表明, 该阶段 Ca 元素含量升高, 表明该阶段主要以碳酸盐矿物为主, 金元素含量几乎为零, 表明该阶段相应的不是金沉淀的关键时期。

综上所述, 邓格庄金矿带成矿期次分为四个时期。其中, 石英 - 黄铁矿阶段与多金属硫化物阶段是主要的金沉淀时期, 黄铁矿相对于有更高的载金能力, 黄铁矿与黄铜矿等载金矿物的核部相较于边部有更高的含金量。这些认识将指导在今后的研究过程中要选取黄铁矿含量较高的矿物进行金的提取工作。

4. 讨论

关于邓格庄金矿带成矿期次的研究尚未完全达成一致, 研究者认为岩浆热隆、流体活化与伸展拆离是胶东金矿形成的主要条件[14]。经典断层阀理论强调了流体运移与断层活动之间的关系[15], 断裂的周期性活动是引起金矿带有多阶段成矿期次的主要原因。构造多期活动成矿, 邓军等[16]在详细研究了石英脉型金矿中的焦家金矿后, 提出这类型金矿的断层初始活动在侏罗纪(160~150 Ma), 主要受到左行断层影响, 在早白垩世(135 Ma~120 Ma)主要受正断层控制, 表现为受控于 NW-SE 向引张以及 NE-SW 向挤压作用, 其后在 120 Ma~110 Ma 表现为左行走滑断层控制, 表现为受 NE-SW 向引张以及 NW-SE 向压缩作用。

本文在基于前人研究的基础上,对邓格庄金矿带的 8 个典型的金矿点进行了详细的野外构造数据收集与整理工作(如图 4),数据处理所用软件为 Win-tensor, Win-Tensor 是一款在构造应力场分析中具有显著优势的专业软件,其核心竞争力体现在算法多样性、高精度计算及用户友好性的有机结合。其相较于其他同类软件(如 Dips),Win-Tensor 不仅支持更复杂的多期次应力场分离,还能基于断层滑动数据、节理或显微裂隙信息,快速反演主应力方向(σ_1 , σ_2 , σ_3)和应力比(R 值),精度可在 $\pm 5^\circ$ 以内。

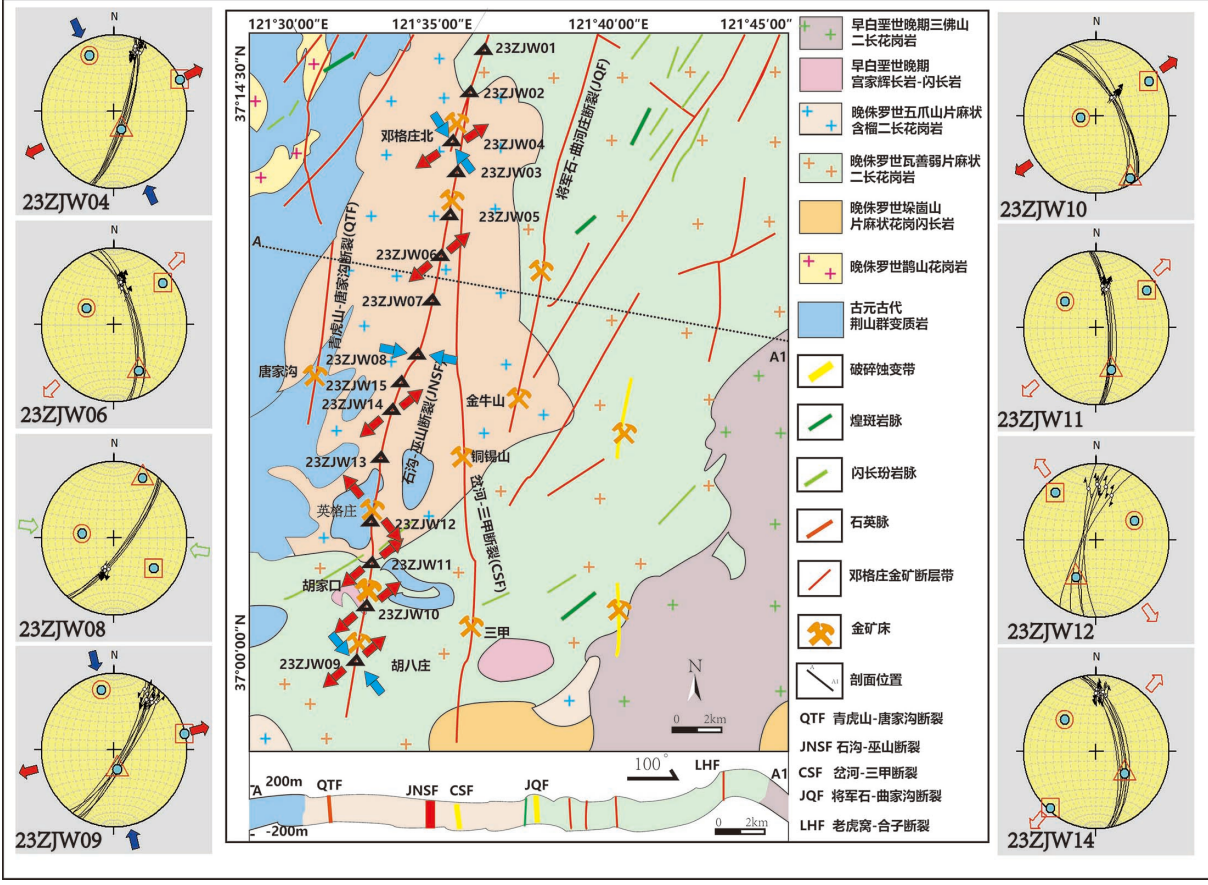


Figure 4. Stress characteristics map of individual gold deposits in the Denggezhuang Gold Belt
图 4. 邓格庄金矿带各金矿应力特征图

由上图分析可知,邓格庄金矿带主要受到 NE-SW 向、NW-SE 向的伸展构造应力与近 E-W 向的挤压应力,总结得出,受 NE-SW 向伸展构造应力的金矿点主要处于石英-黄铁矿阶段与多金属硫化物阶段,受 NW-SE 向伸展构造应力的金矿点主要处于石英-碳酸盐阶段。结合前人对于成矿期次的研究,本文认为,在金沉淀的前期阶段,邓格庄金矿带主要受到挤压型的构造应力状态,这在一定程度佐证了胶东地区在中生代的前期主要受到太平洋板块俯冲的地质背景。金沉淀的初期阶段,含金流体在伸展构造应力的作用下,向上运移并侵入到玲珑型、郭家岭型的围岩中,初期流体以石英为主,间或有一些黄铁矿;在金沉淀的石英-黄铁矿与多金属硫化物阶段,含金流体以石英以及含硫矿物为主,金矿点主要受到 NE-SW 向的伸展构造应力,该阶段也是金沉淀的主要阶段;在金沉淀的后期阶段,邓格庄金矿带主要受到 NW-SE 向的伸展构造应力,该成矿阶段也是应力逐渐收缩的阶段。

与前人研究进行对比,本文与前人在成矿应力方向、各成矿阶段矿物种类与含量方面都存在相同之

处,表明胶东地区(包括邓格庄金矿带)在金沉淀的中生代时期主要受到伸展构造应力的控制,但同时也存在一些不同之处,本文在研究过程中发现,在邓格庄金矿带成矿的主要阶段是以 NE-SW 向的伸展构造应力为主的,而前人所述是以 NW-SE 向为主,本文认为,造成这种变化的原因可能与区域构造应力的偏转引起的,这种偏转被认为与成矿前基底断裂和褶皱的再活化有关。这种应力场转变导致了胶东地区的非均匀应变,增强了构造通道的渗透效率,从而更有利于金的富集。

5. 结论

1) 邓格庄金矿带成矿期次可划分为四个阶段:黄铁矿-石英阶段(I)、石英-黄铁矿阶段(II)、多金属硫化物阶段(III)及石英-碳酸盐阶段(IV),其中II、III阶段为金沉淀主成矿期。黄铁矿核部是金的主要赋存部位,其载金能力显著高于多金属硫化物。

2) 本研究系统揭示了邓格庄金矿带各阶段的发育特征,结合其 NNE 向压扭性断裂系统与玲珑型花岗岩赋矿围岩(155 Ma),提出该阶段形成可能与太平洋板块俯冲后撤引发的伸展背景下多期次流体叠加有关。这一发现为胶东地区石英脉型金矿的成因模型补充了重要的动力学约束,并为深部找矿提供了新的判别标志。

3) 通过多方法(野外穿切关系解析、显微岩相学观测及能谱分析)的联合约束,明确了成矿期次的时空演化规律,明确了石英脉型金矿的成矿期次;此外,黄铁矿核部金含量较高的优势,可指导勘查工程中优先靶区筛选与矿石加工工艺优化,显著提升资源勘探效率。

参考文献

- [1] 刘俊来, 季雷, 倪金龙, 等. 早白垩世华北克拉通岩石圈减薄与破坏动力学: 兼论古太平洋型活动大陆边缘[J]. 地质学报, 2022, 96(10): 3360-3380.
- [2] 宋明春, 宋英昕, 丁正江, 等. 胶东金矿床: 基本特征和主要争议[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(4): 406-422.
- [3] 杨立强, 邓军, 王中亮, 等. 胶东中生代金成矿系统[J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2447-2467.
- [4] 胡芳芳, 范宏瑞, 沈昆, 等. 胶东乳山脉状金矿床成矿流体性质与演化[J]. 岩石学报, 2005, 21(5): 1329-1338.
- [5] 梁辉, 韩作振, 王立功, 等. 胶东辽上金矿床的流体包裹体、氢-氧-碳-硫-铅同位素特征及矿床成因[J]. 地质通报, 2022, 41(6): 1053-1067.
- [6] 林博磊. 吉林东部闹枝金矿成矿构造背景及矿床成因研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [7] Chai, P., Zhang, H., Dong, L. and Zhang, Z. (2019) Geology and Ore-Forming Fluids of the Dayingezhuang Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, Eastern China: Implications for Mineral Exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, **204**, 224-239. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.001>
- [8] Ma, W., Fan, H., Liu, X., Pirajno, F., Hu, F., Yang, K., *et al.* (2017) Geochronological Framework of the Xiadian Gold Deposit in the Jiaodong Province, China: Implications for the Timing of Gold Mineralization. *Ore Geology Reviews*, **86**, 196-211. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.02.016>
- [9] Li, Y., Li, S., Santosh, M., Liu, S., Zhang, L., Li, W., *et al.* (2015) Zircon Geochronology, Geochemistry and Stable Isotopes of the Wang'ershan Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **113**, 695-710. <https://doi.org/10.1016/j.jseacs.2015.03.036>
- [10] 江胜国. 山东胶东地区郭家岭花岗岩岩石地球化学特征及其意义[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [11] 王斌, 宋明春, 霍光, 等. 胶东晚中生代花岗岩的源区性质与构造环境演化及其对金成矿的启示[J]. 岩石矿物学杂志, 2021, 40(2): 288-320.
- [12] 王立功, 祝德成, 郭瑞朋, 等. 胶西北仓上、三山岛岩体二长花岗岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 2018, 92(10): 2081-2095.
- [13] 罗贤冬, 杨晓勇, 段留安, 等. 胶北地块与金成矿有关的郭家岭岩体和上庄岩体年代学及地球化学研究[J]. 地质学报, 2014, 88(10): 1874-1888.
- [14] 杨喜安, 赵国春, 宋玉波, 等. 胶东牟平-乳山成矿带拆离断层控矿特征及找矿方向[J]. 大地构造与成矿学, 2011,

35(3): 339-347.

- [15] Sai, S., Deng, J., Qiu, K., Miggins, D.P. and Zhang, L. (2020) Textures of Auriferous Quartz-Sulfide Veins and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Rushan Gold Deposit: Implications for Processes of Ore-Fluid Infiltration in the Eastern Jiaodong Gold Province, China. *Ore Geology Reviews*, **117**, Article ID: 103254. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103254>
- [16] Deng, J., Liu, X., Wang, Q. and Pan, R. (2015) Origin of the Jiaodong-Type Xinli Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, China: Constraints from Fluid Inclusion and C-D-O-S-Sr Isotope Compositions. *Ore Geology Reviews*, **65**, 674-686. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.04.018>