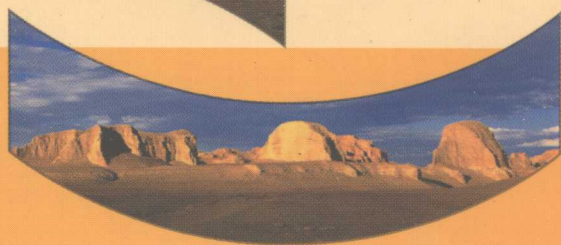


中国地质大学学术著作出版基金 资助出版
中国地质大学“211”工程建设国土资源勘查评价学科群

矿区深部矿体定位预测 的有效途径和方法研究

——以山东招远界河金矿为例

曹新志 高秋斌 徐伯骏 王来峰 著



中国地质大学出版社

中国地质大学学术著作出版基金
中国地质大学“211”工程建设 资助出版
国土资源勘查评价学科群

矿区深部矿体定位预测的有效 途径和方法研究

——以山东招远界河金矿为例

曹新志 高秋斌 徐伯骏 王来峰 著

中国地质大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿区深部矿体定位预测的有效途径和方法研究——以山东招远界河金矿为例/曹新志, 高秋斌, 徐伯骏, 王来峰著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2005.5

ISBN 7-5625-2003-8

I. 矿…

II. ①曹…②高…③徐…④王…

III. 矿区-深部矿体定位预测-有效途径和方法-研究

IV. P62

矿区深部矿体定位预测的有效途径和方法研究 ——以山东招远界河金矿为例

曹新志 高秋斌 著
徐伯骏 王来峰

责任编辑: 赵颖弘

技术编辑: 阮一飞

责任校对: 胡义珍

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码: 430074

电话: (027) 87482760

传真: 87481537

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本: 787毫米×1092毫米 1/16

字数: 240千字 印张: 9.25

版次: 2005年5月第1版

印次: 2005年1月第1次印刷

印刷: 中国地质大学出版社印刷厂

印数: 1—350册

ISBN 7-5625-2003-8/P·641

定价: 30.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

绪言

矿区深部矿体定位预测是大比例尺成矿预测中一项新的研究难度较大的研究课题。其对我国众多的资源危机矿山的增储延寿具有非常直接及现实的指导作用,也是实现矿产资源可持续发展国策的重要途径之一。但是,在勘查程度、甚至研究程度都比较高的资源危机矿山,要想取得找矿上的重大突破,就必须采用合适的预测理论作指导、选择有效的工作途径和方法,才有望在找矿难度较大、成功概率较小的矿区范围内进行科学的成矿预测。本书笔者正是在这些方面通过在界河金矿的实践进行了成功的探索。

界河金矿是一座年产黄金达万两以上的大型矿山,位于著名的招掖金矿成矿带、焦(家)一新(城)金矿田的北部。在20世纪90年代末期,该矿山进入了已探明地质储量即将消耗殆尽的危机时期。如何能够在矿区深部取得找矿上的重大突破,则是矿山重现青春的唯一希望。正是在此背景下,招远市黄金集团总公司在1997年将其作为“探边摸底、增储解危”的地质找矿科研项目之一在全国范围内进行了公开招标。本书就是在笔者承担完成的《山东招远市界河金矿区找矿靶区及已知矿体深部预测研究》的科研报告的基础上编写而成的。

书中重点对以下6方面的问题进行了探讨:

- 1) 对矿体定位预测的研究现状进行了较全面的分析和总结;
- 2) 在全面、简要介绍界河金矿床区域及矿区成矿地质特征的基础上,深入剖析了构造对成矿的控制作用,厘定了矿区内的控矿构造格架,探讨了成矿构造演化对工业矿体的空间定位、分段富集的控制作用,在此基础上总结了矿区构造控矿规律;
- 3) 对矿区内的金矿物、黄铁矿、石英等矿物的标型特征从多方面进行了探讨与总结,查明了矿物标型特征在三维空间内的变化规律,为预测找矿提供了有效的信息;
- 4) 对成矿元素及有关元素的空间变化趋势、轴向分带及其相关特征进行了分析,建立了元素分带模型,发掘了微观的预测信息;
- 5) 对工业矿体的空间定位规律进行了探讨,厘定了矿体的侧伏规律、水平间距及矿区含矿间隔、矿体形态在垂向上的变化规律,为矿区深部的矿体定位预测提供了具体的参数;
- 6) 对矿区内的进一步找矿前景进行了较客观的评价,并进行了成功的矿区深部矿体定位预测。

参加课题研究的人员有曹新志、高秋斌、徐伯骏、王来峰等人。

本书由曹新志拟订编写提纲,具体撰写分工如下:绪言、第一章、第七章、结束语由曹新志执笔,第六章由曹新志、王来峰执笔,第八章由曹新志、徐伯骏执笔,第二章、第四章由高秋斌执笔,第三章由高秋斌、徐伯骏执笔,第五章由徐伯骏执笔,最后由曹新志统一修编定稿。

整个研究工作始终得到招远市黄金集团总公司、界河金矿、中国地质大学(武汉)的关心与支持;本书的出版得到了中国地质大学“211工程”学术著作出版基金和矿产普查与勘探重点学科建设的资助,中国地质大学出版社给予了大力的支持,责任编辑赵颖弘为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此谨向上述单位和个人表示感谢。

由于笔者水平所限,文中定有不少错误和疏漏之处,敬请同行专家和读者批评指正。

笔者

2004年6月于武汉

目 录

第一章 矿区深部矿体定位预测研究现状概述	(1)
§ 1.1 对矿体定位预测的可行性的认识仍有争议	(1)
§ 1.2 对矿体定位预测的理论和研究方法研究给予了高度的重视	(1)
§ 1.3 通过何种途径或方法才能保证进行成功的定位预测	(2)
第二章 区域地质背景	(4)
§ 2.1 地层及其含矿性	(4)
2.1.1 太古宙—元古宙变质地层特征	(4)
2.1.2 胶东群变质岩系与金成矿的物质联系	(6)
§ 2.2 岩浆岩特征及其与成矿的联系	(6)
2.2.1 花岗质岩浆岩特征	(6)
2.2.2 花岗质岩浆岩与成矿的联系	(7)
§ 2.3 区域构造与金矿带空间展布	(8)
2.3.1 栖霞复背斜	(8)
2.3.2 北东向区域性断裂	(8)
2.3.3 区域构造与金矿带空间展布	(9)
§ 2.4 区域矿产及金矿化类型	(9)
2.4.1 区域矿产	(9)
2.4.2 金矿化类型	(9)
§ 2.5 焦家金矿田成矿地质背景	(10)
2.5.1 地层	(10)
2.5.2 岩浆岩	(10)
2.5.3 构造	(11)
第三章 矿床地质特征	(13)
§ 3.1 矿区地质	(13)
3.1.1 地层	(13)
3.1.2 岩浆岩	(13)
3.1.3 构造	(16)
§ 3.2 矿床矿化特征	(16)
3.2.1 矿化一般特征	(16)
3.2.2 矿体特征	(17)
3.2.3 矿石特征	(22)
3.2.4 围岩蚀变	(26)
3.2.5 成矿阶段划分	(29)
第四章 断裂构造控矿规律研究	(31)
§ 4.1 断裂构造特征	(31)

4.1.1	断裂构造基本特征	(31)
4.1.2	断裂构造变形特征	(33)
4.1.3	断裂构造的变形分析及其演化	(35)
4.1.4	结环构造及其形成过程	(37)
§ 4.2	断裂构造控矿规律	(38)
4.2.1	断裂构造对成矿元素分布的控制	(39)
4.2.2	断裂构造对矿体空间分布的控制	(39)
4.2.3	断裂构造对矿化局部富集的控制	(39)
4.2.4	断裂构造对矿体形态、产状的控制	(49)
4.2.5	断裂构造对矿化类型的控制	(50)
4.2.6	断裂构造对围岩蚀变的控制	(52)
4.2.7	断裂构造对矿化分带的控制	(52)
4.2.8	断裂构造对成矿演化的控制	(53)
§ 4.3	结环构造控矿特征分析	(54)
第五章	矿物标型特征研究及矿化信息提取	(56)
§ 5.1	金矿物标型特征	(56)
5.1.1	金矿物的产状特征	(56)
5.1.2	金矿物的化学成分	(59)
5.1.3	金矿物标型意义	(63)
§ 5.2	黄铁矿标型特征研究	(64)
5.2.1	黄铁矿的产状及分带	(65)
5.2.2	黄铁矿的形态特征	(66)
5.2.3	黄铁矿的化学成分研究	(77)
5.2.4	黄铁矿热电性特征	(80)
5.2.5	黄铁矿晶形参数及热电性参数等值线图的研究意义	(88)
§ 5.3	石英标型特征研究	(92)
5.3.1	不同成矿阶段的石英的特征	(92)
5.3.2	石英红外光谱特征	(93)
5.3.3	石英包裹体特征	(95)
5.3.4	界河金矿的石英标型、围岩、矿体及富矿石英特征	(96)
第六章	矿区地球化学特征研究及矿化信息提取	(99)
§ 6.1	地球化学特征研究	(99)
6.1.1	矿区基岩微量元素含量特征	(99)
6.1.2	矿区地球化学元素的统计特征	(100)
6.1.3	地球化学元素的空间分布特征	(104)
6.1.4	地球化学元素的垂向分带研究	(108)
§ 6.2	地球化学找矿信息提取	(110)
第七章	矿体定位规律研究	(112)
§ 7.1	矿体的一般产出特征	(112)
§ 7.2	矿体侧伏特征研究	(114)

§ 7.3	矿体在垂向上的变化特征	(117)
§ 7.4	矿体的似等距性分布	(118)
§ 7.5	矿区含矿下限的分析	(119)
§ 7.6	矿体定位规律总结	(119)
第八章	矿区进一步找矿前景评价及定位预测	(121)
§ 8.1	矿区进一步找矿前景评价	(121)
8.1.1	矿区地表及外围找矿前景评价	(121)
8.1.2	矿区深部找矿前景评价	(125)
§ 8.2	矿区定位预测	(125)
8.2.1	定位预测的原则及方法	(126)
8.2.2	定位预测靶区圈定及预测储量估算	(127)
第九章	结束语	(131)
§ 9.1	初步验证结果评价	(131)
§ 9.2	主要成果与认识	(133)
后记		(135)
主要参考文献		(136)

第一章 矿区深部矿体定位预测研究现状概述

成矿预测作为贯穿于矿产勘查全过程中的一项必不可少的应用性工作,自20世纪70年代以来在矿产勘查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,大比例尺的矿体定位预测研究工作在生产矿山“探边摸底”的“增储解危”活动中正起着越来越重要的作用。在当前资源可持续发展的研究中,如何合理有效地增加及最大限度地利用不可再生的矿产资源的问题已成为一个引人注目的课题,为此科技部已明确提出把重点矿区深部的预测找矿研究作为“十五”攻关课题进行攻关。

矿体定位预测是随着大比例尺成矿预测研究工作的深入而提出的一项新的研究难度较大的研究课题,其对矿床勘探及众多的资源危机矿山的增储延寿都具有非常直接及现实的指导作用。但由于成矿信息的灰色性及其相对成矿过程的有限性,所进行的矿体定位预测、甚至矿床预测都具有较大的失误性。探讨矿体定位预测的理论、有效途径及方法是减少预测失误性的根本保证。目前,围绕矿体定位预测研究的热点可以概括为如下三方面:

§ 1.1 对矿体定位预测的可行性的认识仍有争议

目前,我国有关部门及众多的危机矿山都不同程度地进行了一定的矿体定位预测科研工作。矿体定位预测作为一项势在必行的工作在成矿预测领域虽已全面展开,但部分学者对矿体定位预测的可行性认识仍存在不同的看法,争议的焦点是矿体定位预测的提法是否现实。例如有人认为隐伏金矿体的预测不应以矿体为预测对象,而应以含金地质体(矿化体)为预测对象(蔡新平等,1998)。还有人认为,依靠人类目前的地质科技水平,是无法达到想象中的三定(定目标、定规模、定品位)目标的,至多能采用物化探综合手段确定矿化体的大致空间位置,至于品位、规模只有通过深部探矿工程才能确定(刘鹏鄂,1996)。上述这些看法从一个侧面反映了实现科学的矿体定位预测的确是一件难度较大的事情,并且已进行的矿体定位预测的实践工作的成功率也是非常低的,但也不乏成功的实例。只要敢于探索,不断的积累经验,随着研究工作的深入,矿体定位预测的成功概率必将不断提高,对矿体定位预测的可行性的认识必将会得到业内人士的共鸣。

§ 1.2 对矿体定位预测的理论和研究方法研究给予了高度的重视

国内外众多的专家、学者针对隐伏矿体定位预测理论及方法给予了极大的关注及较多的探讨:如1993年美国国家研究委员会提出《固体地球科学及社会》关于优先研究主题中明确提出“研制确定非再生资源位置和范围的动力学方法、物理学方法和化学方法”,并提出“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

向之一”；1993年4月在美国的“丹佛会议”上，众多学者认为未来矿产勘查的成功率将取决于综合因素，首先是预测选区的准确性、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GIS、GPS和RS技术，以大力提高宏观找矿靶区定位预测的准确度和可靠性；美国学者S. S. 亚当斯等（1993）以卡林型金矿为例提出了隐伏矿预测的“资料—过程—准则”模型的思路与方法，导致了在卡林矿带深部及外围找矿的重大突破；前苏联在20世纪90年代初先后提出了“系统勘查”、“局部预测”、“立体填图”、“目标预测”和“预测普查组合”等新的思路及方法；国内涂光炽院士在20世纪80年代就对超大型矿床的寻找和理论进行了探讨。赵鹏大院士自20世纪90年代提出了地质异常致矿理论，并将其应用于定位预测研究中，进而提出基于地质异常的“5P”找矿地段的定量圈定与评价的新思路，于2000年又提出了“三联式”定量成矿预测的新模式。王世称教授于20世纪80年代提出了综合信息矿产预测理论，并长期坚持将其应用于预测找矿工作中，在实践中取得了较好的效果并在国内得到了较大的响应。裴荣富先生以成矿理论作指导，在隐伏矿、难识别矿矿产资源潜力的地质评价方面进行了系统的总结。翟裕生、陈毓川院士等人以成矿系列、成矿系统理论作指导，在大型超大型矿产的寻找和评价理论方面也进行了较深入的探讨。朱欲生先生对成矿预测的理论和方法也进行过较全面的研究。申维教授从非线性地质学角度入手，以分形、混沌理论等作指导进行了成矿预测的探讨工作。肖克炎、池顺都等人（1998）以GIS为工具，以地质异常为理论进行了矿产预测的有益尝试。蔡新平等人（1998）提出了建立矿床结构模型进行定位预测的思路。张均等人（2000）提出了成矿构造物理化学场结构预测法等。笔者在成矿预测方法的理论、分类及矿区深部定位预测等方面也进行过一定的探讨（曹新志等，1993，1999，2001）。

综上所述，在隐伏矿床（体）定位预测研究中，国内外学者都充分认识到预测理论及方法研究的重要性，但目前这一领域在国内外存在的普遍问题是方法的研究总体上落后于理论研究，局部预测方法落后于区域预测方法，特别是缺少有效实用的、适用于资源危机生产矿区用于“探边摸底”的针对隐伏矿体的定位预测方法，已有的方法的可靠性也不高，甚至于有关成矿预测一般方法分类的研究都比较薄弱，这正是当前隐伏矿床（体）预测成功率不令人满意的主要原因所在。

有关成矿预测方法的研究已经历了自20世纪60年代以前的以定性的地质分析方法为主、60~80年代的定性和定量方法并举以及20世纪90年代至今的定量方法为主的发展历程。在当今，多源信息的有机综合、深层次信息的科学提取、高新技术（如多S技术）的有机结合已成为预测方法研究的热点所在。这也是预测方法研究在今后相当长一段时间内的必然发展趋势。

§ 1.3 通过何种途径或方法才能保证进行成功的定位预测

通过何种途径或方法才能保证进行成功的定位预测，这一直是围绕人们进行矿体定位预测的难点之一，也是一个有关专业人士急于寻求解决的难题。迄今为止，人们从多方位进行了尝试：

1) 从20世纪80年代早期至今，赵鹏大等人（1983，1995）强调从查明矿体数字特征入手，进而查明矿化的有序性分布规律，从而进行定位预测；这种认识在80年代后期较为

盛行，这与数学地质当时处于发展鼎盛阶段有关。现今人们已广泛地应用矿石品位、矿体厚度等反映矿体空间变化的数字特征进行深部矿化信息提取（如利用等值线变化趋势预测矿体）。

2) 从 20 世纪 80 年代早期至今，强调从构造控矿规律研究入手进行预测；这是由于热液型矿床的产出直接受断裂构造控制的客观规律所致，这种认识有其较大的直观性、合理性、应用上的普遍性。具体论著如刘石年的《山东玲珑式金矿床矿体空间定位形式及形成机制初探》（地球科学，No. 4，1984）；蔡新平等人的《矿床结构模型与某些类型金矿床定位预测》（地质科学，No. 3，1998）等。蔡新平等人（1998）甚至认为“目前隐伏矿床定位预测工作的主要目标是判断深部最有利的成矿与赋矿部位，因而控矿构造分析是成矿预测的最主要手段”。

3) 强调地、物、化、遥诸方面的综合分析；这是目前的一种潮流及方向。由王世称所倡导（1989），徐兴旺等人（2000）都有论述。这种提法是与当前勘查工作的技术动态相吻合的，对区域预测也是可行的。

4) 认为总结矿体空间定位规律，特别是侧伏规律的揭示是进行热液矿床矿体定位预测的有效途径。曹新志等（2001）把矿区深部矿体定位预测的有效途径总结为：区域含矿间隔的确定（理论上预测）；断裂构造定位控矿研究（揭示总结矿体定位规律）；深部矿化信息发掘（物化探、矿物标型特征的三维空间变化，特别是向深部的变化特征——如侧伏特征）等方面，并在山东招远界河金矿的深部矿体定位预测实践中取得了显著的成效。

在近几年的成矿预测研究中，笔者根据自己多年的预测实践探索以及结合预测方法的发展趋势初步认为多源趋势外推法是矿区深部矿体定位预测的有效途径和方法。所谓多源趋势外推法指根据矿床（体）地质及地球化学、地球物理等多方面宏、微观找矿信息自然变化趋势的耦合特征，从已知地段外推未知地段、特别是由矿区上部下推矿区深部的成矿前景的预测方法。这种方法的提出是基于以下两方面的考虑：一是考虑到一些重要的矿产地以及资源危机矿山经过长期的探矿及开采，积累了丰富的多方面的找矿信息资料，如何将这些资料重新开发、特别是通过借助于 GIS 等先进技术进行有关数据的有机合成及提取，可以从中发掘出新的、深层次的找矿信息，从而可以对矿区深部的成矿前景作出较客观的评价。这既是当前定位预测研究的趋向所在，也是隐伏矿床（体）预测能否成功及事半功倍的关键所在；二是因为长期以来趋势外推法一直是“就矿找矿”工作中一种相对行之有效的办法。在生产矿区深部矿体的定位预测中，利用地表及浅部已知矿化特征及有关找矿信息向深部的变化趋势，往往可以得到相对较理想的找矿效果。但是，这种传统的单信息的趋势外推由于其信息本身的不确定性及多解性在找矿难度日益增大的今天，往往难以取得令人满意的效果，如果能够正确的利用多参数、综合参数甚至新的合成参数进行趋势外推，则预测的可靠性将会大大提高，这正是笔者提出的多源趋势外推法研究的要点所在。多源趋势外推法是针对资源危机矿山的“探边摸底”、特别是矿区深部找矿工作的具体需要而提出的，在我国众多的生产矿山已进入资源危机期的国情下，本方法有着广泛的应用对象及前景。

第二章 区域地质背景

界河金矿位于胶东地盾胶北隆起带西北部,属著名的招远—掖县(今莱州市)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,向南隔胶(州)莱(阳)盆地与胶南隆起相对应。区域内广泛出露的地层为太古宙胶东群,古元古宙粉子山群、新元古宙蓬莱群围绕胶东群亦有出露,侏罗系、白垩系仅零星分布;构造活动频繁,总体上表现为在东西向构造的基础上叠加北东、北北东及北西向构造;不同成因不同期次岩浆活动形成的花岗质岩石分布广泛,局部脉岩成群出现。

§ 2.1 地层及其含矿性

区域内出露的地层可明显划分为变质地层和未变质地质。变质地层包括太古宙胶东群、古元古宙粉子山群及新元古宙蓬莱群,其中的胶东群为区内主要出露地层;粉子山群在区内仅零星出露,但在招—掖金矿带外围的福山、南墅地区有大面积分布;蓬莱群在招远、掖县及栖霞以东、福山以西地区均有零星出露。未变质地层主要为上侏罗统莱阳组、下白垩统青山组及上白垩统王氏组,三组岩性依次为杂色碎屑岩沉积、火山沉积夹陆相红色碎屑沉积,总体上属陆相火山盆地沉积建造。在区域内仅局限于黄县以东有零星分布,但在成矿带南侧的莱阳、莱西则有大量出露;此外,未变质地层尚有新生宙,主要为河湖相沉积和玄武岩建造(图2-1)。已有的研究表明,未变质地层与金成矿关系不密切,故对其不予详述。对于太古宙—元古宙变质地层,重点阐述与金成矿有一定内在联系的胶东群地层。

2.1.1 太古宙—元古宙变质地层特征

(1) 太古宙胶东群

胶东群自20世纪60年代建立并提出层序划分方案以来,山东地质矿产局综合队(1976)、第六地质大队(1979)和第三地质大队(1979)先后提出了不同的划分方案,沈阳地质矿产研究所(1983)在综合分析前人成果的基础上提出的划分方案为由下而上依次为:蓬乔组、民山组和富阳组,总厚度超过万米。蓬乔组岩石类型主要为变粒岩、斜长角闪岩及角闪浅粒岩,构成栖霞复背斜及次级褶皱的核部,成矿带主要出露该组地层。民山组主要由透闪透辉片岩、薄层大理岩、角闪黑云变粒岩、黑云片麻岩组成,分布于背斜的翼部。富阳组的岩石类型组合为黑云变粒岩、石榴堇青黑云片麻岩或麻粒岩、石榴矽线片麻岩,夹斜长角闪岩,分布于背斜的翼部或构成向斜的核部。各组岩石类型及组合的差异主要是原岩建造的不同,以及变质程度的不同所致。总体上胶东群地层的岩石类型主要为斜长角闪岩、黑云变粒岩、黑云斜长片麻岩、黑云片麻岩,属区域中高级变质的麻粒岩相、角闪岩相的产物。

胶东群地层普遍经受了较强烈的变质改造,以深变质岩或混合花岗岩的面貌产出。据王

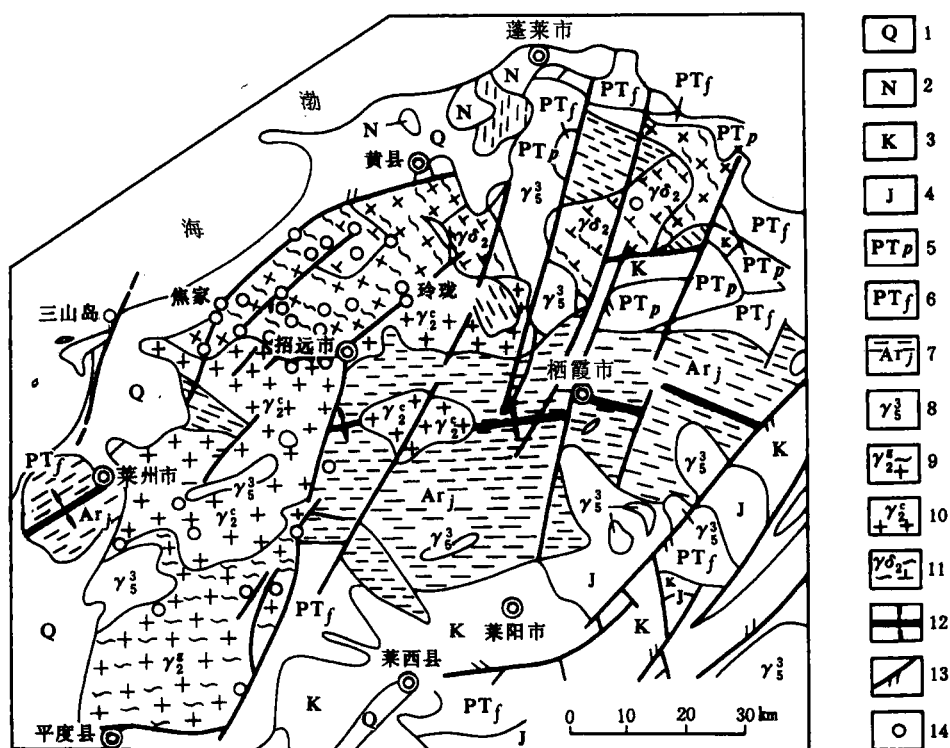


图 2-1 胶东西北部区域地质略图

(据山东第六地质大队资料改编, 2004)

1. 第四纪; 2. 新第三系; 3. 白垩系; 4. 侏罗系; 5. 新元古宙蓬莱群; 6. 古元古宙粉子山群; 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. 漆家河中粗粒花岗岩; 11. 郭家岭似斑状花岗岩闪长岩; 12. 栖霞复背斜轴; 13. 压扭性断裂; 14. 金矿床

孔海等 (1988) 对其原岩进行恢复后认为, 其原岩建造下部蓬乔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, 至上部富阳组则转变为以陆源碎屑沉积岩为主, 该组下部见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实际上为一套由中基性—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, 且具多旋回演化的特征。岩石类型、化学成分及原岩恢复表明, 下部的中基性—基性火山岩产于类似现代岛弧的构造环境。

(2) 古元古宙粉子山群

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, 属中级变质角闪岩相的产物, 局部经受了轻微的混合岩化作用。其原岩主要是一套由泥质岩、碎屑岩和碳酸盐岩组成的沉积建造, 夹少量火山沉积岩。

(3) 新元古宙蓬莱群

岩石类型主要有板岩、千枚岩、泥灰岩、石英岩和灰岩, 经受了轻微的变质作用。

2.1.2 胶东群变质岩系与金成矿的物质联系

胶东群变质岩系与金成矿的物质联系一直是许多学者长期关注的问题，亦是关于胶东西北部地区金矿床成因不可回避的关键问题。在综合分析前人研究成果的基础上，笔者赞同胶东群变质岩系与金矿床有密切的物质联系，是金的矿源层的观点和认识。其主要的依据为：

1) 胶东群金的丰度值普遍高于地壳克拉克值（表 2-1）。另外，经人工重砂取样，在蓬莱组地层中淘出了较丰富的金粒，表明其具有提供成矿物质的可能性。

2) 胶东群与成矿带及矿床有密切的空间分布关系，表现在胶东群与成矿带的展布方向及分布范围一致，矿床的直接围岩均为胶东群变质地层或由其经变质改造而成的各类花岗质岩石。

3) 同位素地球化学和稀土元素地球化学的研究表明，胶东群地层与原地、半原地混合交代花岗岩或重熔花岗岩以及金矿床三者的硫、氧、铅同位素组成一致，稀土配分模式也具一致性，表明三者的形成具有明显的继承性和统一性，即金最初来源于胶东群。

表 2-1 胶东西北部变质岩系含金丰度值

群	胶东群	粉子山群	蓬莱群	地壳（黎彤，1976）
金质量分数（ 10^{-6} ）	22.11（265）	1.56（132）	2.00（21）	4.00

（括号内为样品数；据孙丰月）

综上所述，笔者认为，胶东群变质岩系与金成矿有密切的联系，是金的矿源层，为金矿床的形成提供了大部分和主要的成矿物质，这与世界上产于变质岩区的绿岩带金矿有明显的一致性。

§ 2.2 岩浆岩特征及其与成矿的联系

区域内的岩浆岩主要为花岗质岩石及多种脉岩，后者包括花岗斑岩及中基性脉岩和煌斑岩等。花岗质岩石有 3 种类型，即玲珑片麻状花岗岩、郭家岭似斑状花岗闪长岩和滦家河中粗粒花岗岩。

2.2.1 花岗质岩浆岩特征

花岗质岩浆岩在胶东西北部地区均有出露，但在招远、掖县地区类型最为齐全，分布最为集中，总体呈北东向展布，局部则为近东西向。

（1）玲珑片麻状花岗岩

分布在招远北部和西部、掖县—平度一带及三山岛，在黄县及蓬莱亦有零星出露。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，总体呈北东向展布。按岩石类型可进一步细分为粗粒及中粒片麻状花岗岩、中粒及中细粒片麻状花岗岩、细粒片

麻状花岗岩，三者之间为渐变过渡关系。岩石呈浅灰白色，主要矿物有钾长石、斜长石、石英、黑云母，副矿物有锆石、褐帘石、磷灰石、磷铁矿、独居石等，交代结构发育，程度不同地发育片麻理构造。另一显著特征是，其中常见胶东群残留体。残留体大小不一，形态各异，长度从几厘米到几百米的均可见到，总体延伸方向与片麻理产状一致，岩石类型包括经混合岩化形成的黑云变粒岩、黑云片岩等。残留体的发育程度在不同岩石类型中有明显的差异性，以在中粒及中细粒片麻状混合花岗岩中最为常见。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

分布在郭家岭至黄山馆为轴线的狭长地带内，以岩株形式产出，但有物探及钻孔资料表明，在深部可能为统一的大岩基。包括郭家岭岩体、上庄岩体、南截岩体、北截岩体，总体排列近东西向。岩石类型主要为角闪花岗岩、二长花岗岩、石英二长岩和花岗闪长岩。各类岩石之间为渐变过渡关系。岩石为灰白色，主要矿物为钾长石、石英、角闪石和黑云母，副矿物有锆石、榍石、磁铁矿、磷灰石、褐帘石等。除交代结构发育外，以似斑状结构及颗粒粗大的钾长石变斑晶发育为其特征。斑晶为淡粉红色，一般 $1\text{cm} \times 2\text{cm}$ ，长轴有明显的定向排列。岩体与胶东群为渐变过渡关系，与玲珑岩体亦为过渡关系，局部可见侵入到玲珑片麻状花岗岩岩体中，在岩体的内接触带边缘相钾长石斑晶有明显变小的趋势。

(3) 滦家河中粗粒花岗岩

分布在招远市中西部及掖县东部，划分为滦家河岩体、毕郭岩体、招贤岩体、郭家店岩体，近东西向展布。岩石类型主要为钾长花岗岩、含黑云母钾长花岗岩、粗粒或中细粒黑云母花岗岩。岩石呈灰白色，主要矿物为钾长石、斜长石、石英、黑云母，副矿物为独居石、绿帘石、黄铁矿、磁铁矿等。该类花岗岩交代结构不明显，但有其特征的等粒花岗岩结构及似文象结构。岩体与胶东群呈明显的侵入接触关系，有时在与其他花岗质岩体或胶东群的接触带可见到冷凝边或矿物颗粒变细的现象。

2.2.2 花岗质岩浆岩与成矿的联系

本区花岗质岩浆岩与成矿的联系首先表现在花岗质岩体与金矿带（床）具密切的空间关系。金矿床均分布在玲珑岩体与郭家岭似斑状花岗闪长岩或玲珑片麻状花岗岩与胶东群地层的内接触带中，花岗质岩石为其直接的赋矿围岩，但总体产出范围与滦家河中粗粒花岗岩的接触带有明显的关系，即多数金矿床位于重熔岩体接触带的 $0 \sim 6\text{km}$ 范围内，与重熔型花岗岩（滦家河花岗岩）形成的热晕圈影响范围一致。密切的空间关系从一个侧面反映了二者内在的成因联系，笔者认为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以及花岗岩化使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高能带（重熔中心）向低能带（外接触带）迁移，并在一定范围内（ $0 \sim 6\text{km}$ ）的有利构造和构造部位富集成矿。

§ 2.3 区域构造与金矿带空间展布

招—掖金矿带处于早期的东西向构造与晚期北东向构造的复合部位。早期的东西向构造以栖霞复式背斜为代表，晚期的北东向构造则主要为一系列沿北东向发育的断裂构造，其中区域性的断裂构造有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。区域构造控制着金矿带以及矿田的空间展布。

2.3.1 栖霞复背斜

栖霞复背斜横亘桃村断裂以西的胶北隆起带，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34km，南北宽约14km。复背斜西端向南西偏转，东端向北东偏转，二者均与区域西侧之沂沭断裂体系反扭运动有关。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，其北翼由栖霞市至唐家泊一线受到玲珑片麻状花岗岩和郭家岭似斑状花岗闪长岩体的破坏，南翼在河头店至栖霞蛇窝沟为上覆的中生代地层所掩盖，因此，很难查明褶皱的确切形态。

2.3.2 北东向区域性断裂

(1) 三山岛断裂

三山岛断裂位于招—掖金矿带的西端，该断裂走向NE40°，倾向南东，倾角35°~40°，两端延入渤海，延伸超过3km，发育在玲珑片麻状花岗岩与胶东群斜长角闪岩的内接触带中，断裂面呈舒缓波状延展，沿主断面构造岩及节理带发育，构成一宽达200~300m巨大的断裂破碎带。

(2) 黄—掖断裂

南起掖县朱桥，北至黄县石良集，断裂带长达100km。主断面波状起伏明显，南段、中段走向35°左右，但北段自黄山馆往北转为55°。南段发育在胶东群变质岩系中，局部发育在玲珑片麻状花岗岩与郭家岭似斑状花岗闪长岩的接触带。中段沿胶东群蓬乔组的斜长角闪岩和玲珑片麻状花岗岩的接触带延展。北段则切割发育于玲珑片麻状花岗岩中。沿主断面构造岩、次级断裂及节理带发育，从而构成宽达100m以上的断裂破碎带，局部地段破碎带宽可达1200m。

(3) 招—平断裂

南迄平度城北，向北沿玲珑片麻岩花岗岩与粉子山群、胶东群接触带发育，经招远城北切割玲珑岩体至蓬莱市城区东延入渤海，断裂总长超过130km，总体走向40°，倾向南东，倾角30°~50°，断裂面呈舒缓波状。断裂带构造岩、次级断裂及节理发育。

2.3.3 区域构造与金矿带空间展布

区域构造不仅是金矿床形成的重要条件,而且直接控制着金矿带、金矿田的空间展布。首先栖霞复背斜使招—掖金矿带呈东西向的带状展布,其次北东走向的区域性断裂是成矿带的导矿构造,3条区域性断裂分别控制着三个金矿田(即三山岛金矿田、焦家金矿田和玲珑—九曲金矿田)的空间展布,并且一系列金矿床特别是所有的大型、超大型矿床均沿其呈串珠状分布。因此区域构造使成矿带的金矿化总体表现为“东西呈带,北东呈串”的展布特征。界河金矿区位于焦家金矿田的北部。

§ 2.4 区域矿产及金矿化类型

2.4.1 区域矿产

黄金是本区的优势矿产,该区也是我国重要的黄金生产基地,产出有著名的焦家、新城、三山岛、仓上、玲珑、玲南等一批大型、超大型金矿床,以及一系列中小型金矿床。除黄金外,区域内还产有银、铅、锌,以及萤石、石英、黄铁矿、石墨、建筑石料等金属矿产和非金属矿产。

2.4.2 金矿化类型

区域内的金矿化类型根据金矿床的矿化特征划分为3种:即含金石英脉型(玲珑式)、破碎带蚀变岩型(焦家式)和过渡型(灵山沟式)。玲珑式金矿床与焦家式金矿床的矿化特征有明显的差异和不同(表2-2)。灵山沟式金矿床兼具二者的特征,其上部较多地表现出玲珑式矿化的特征,而下部则更多地显示焦家式矿化的特征,上部与下部之间为渐变过渡关系,该类型金矿床以灵山沟金矿床、望儿山金矿床为代表。

表 2-2 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,走向以 NEE 向为主,倾向 NW,个别走向为 NNE,倾角普遍较陡	薄板状、透镜状,走向 NE 或 NNE,倾向 SE 或 NW,主矿体倾角普遍较缓,一般 30°~40°
	连续性、规模	断续出现,单条矿脉规模小,脉群规模大	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	弱,几厘米至几米,最宽可达 20m	强,几十米至几百米不等
	分布	以矿脉为中心对称分布	断裂下盘比上盘强

续表 2-2

矿床类型		玲 珑 式	焦 家 式
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,尚有绢云母、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 NEE、NE 脆性张剪断裂控制,倾角较陡,一般为 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$	矿体受初—脆性叠加断裂控制,倾角较缓,一般为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$
典型实例		玲珑西山	焦家金矿、罗峰金矿、三山岛金矿

§ 2.5 焦家金矿田成矿地质背景

焦家金矿田处于招—掖金矿带的中部,为区域内最重要的金矿田,集中分布有焦家、新城两个超大型金矿床,以及望儿山、红布、马塘、河西、河东、灵山沟、上庄和界河等一系列中小型金矿床。

2.5.1 地层

矿田内出露地层比较简单,除第四系外,主要为太古宙胶东群的变质岩系。

(1) 新生宙第四系

分布广泛,主要由冲积层、洪积层和残积层组成。

(2) 太古宙胶东群

主要分布于新城金矿以南和辛庄附近焦家断裂(即黄县—掖县断裂朱桥—辛庄段)以西地段(图 2-2),少量以残留体形式分布于玲珑片麻状花岗岩和郭家岭似斑状花岗闪长岩中。主要岩石类型为斜长片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩和黑云母片岩。

2.5.2 岩浆岩

矿田内出露分布的岩浆岩主要为玲珑片麻状花岗岩和郭家岭似斑状花岗闪长岩,此外,尚有少量的花岗斑岩、煌斑岩等脉岩。其中玲珑片麻状花岗岩分布最广,出露面积最大,呈岩基产出。郭家岭似斑状花岗闪长岩呈岩株状产出,分布于上庄、大诸流一带。二者呈渐变过渡关系、断层接触关系或侵入接触关系。