doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.06.004

# 胶东焦家金矿田"三位一体"找矿预测地质模型与 深部找矿示范

祝培刚<sup>1</sup>,李秀章<sup>1\*</sup>,张文佳<sup>2</sup>,王英鹏<sup>1</sup>,王巧云<sup>1</sup>,张文<sup>1</sup>,于晓卫<sup>1</sup>,迟乃杰<sup>2</sup> ZHU Peigang<sup>1</sup>, LI Xiuzhang<sup>1\*</sup>, ZHANG Wenjia<sup>2</sup>, WANG Yingpeng<sup>1</sup>, WANG Qiaoyun<sup>1</sup>, ZHANG Wen<sup>1</sup>, YU Xiaowei<sup>1</sup>, CHI Naijie<sup>2</sup>

1.山东省地质调查院,山东 济南 250014;2.山东省地质科学研究院,山东 济南 250013

1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250014, Shandong, China;

2. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250013, Shandong, China

摘要:焦家金矿田是胶东地区金矿最富集的三大金矿田之一。为开展焦家金矿田深部找矿预测工作,在焦家金矿田深部调查 工作总结的基础上,运用勘查区找矿预测理论构建了找矿预测地质模型。结果显示,早白垩世郭家岭型花岗岩是焦家金矿田 的金矿成矿地质体;成矿构造系统为焦家断裂构造系统,成矿结构面主要包括主断裂面、次级断裂面、裂隙面等;热液蚀变类 型主要有钾长石化、黄铁矿化、绢英岩化、硅化、碳酸盐化等。以勘查区找矿预测地质模型为指导,开展了深部找矿预测,圈定 了深部找矿靶区 2 处,经钻探验证均取得了较好的见矿效果,开拓了深部找矿空间。 关键词:找矿预测;地质模型;成矿地质体;成矿构造;成矿结构面;成矿作用;焦家金矿田

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2023)06-0909-12

# Zhu P G, Li X Z, Zhang W J, Wang Y P, Wang Q Y, Zhang W, Yu X W, Chi N J. The "trinity" prospecting prediction geological model and demonstration of deep prospecting of Jiaojia gold field in the Jiaodong area. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(6):909–920

**Abstract:** The Jiaojia gold field is one of the three most abundant gold fields in the Jiaodong area. In order to carry out deep ore exploration and prediction work in Jiaojia gold field, the geological model of ore prospecting is constructed based on the summary of deep investigation work in Jiaojia gold field using the ore prospecting prediction theory in the exploration area. The results show that the Guojialing-type granite of Early Cretaceous is the metallogenic geological body of Jiaojia gold field. The metallogenic structural system is Jiaojia fault structural system and the metallogenic structure interface is fault structure, which mainly includes main fault surface, secondary fault surface, fissure surface and so on. Hydrothermal alteration mainly includes potash feldspathization, pyritization, quartz- sericitization, silicification and carbonation. Two deep ore prospecting target areas have been delineated, and good prospecting results have been achieved through drilling verification, thus opening up the deep prospecting space.

Key words: ore prospecting and prediction; the geology model; metallogenic geological body; metallogenic structure interface; mineralization function; Jiaojia gold field

焦家断裂是胶西北金矿集区内3条主要的控矿 断裂之一。焦家金矿田主要受焦家断裂及其分支 断裂控制,是胶东地区金最富集的地区之一,矿田 内分布有纱岭、焦家、朱郭李家、新城、曲家等大型

作者简介:祝培刚(1978-),男,正高级工程师,从事地质调查与矿产勘查工作。E-mail:zhu.pei.gang@163.com

\*通信作者:李秀章(1969-),男,硕士,研究员,从事地质调查与矿产勘查工作。E-mail:lixiuzhang4117@163.com

收稿日期:2021-07-11;修订日期:2021-11-17

**资助项目:**中国地质调查局项目《矿集区矿床调查与深部找矿预测》(编号:DD2019057019)、国家重点研发计划项目《深部资源预测系统 技术研究与示范》(编号:2017YFC0601506)

以上金矿床及马塘、寺庄、红布等中型金矿床。这 些矿床的主矿体之间相互连接,构成一个巨型金矿 床,控制资源量达1410 t,但由于探矿权隶属于不同 的单位,人为将焦家金矿分为不同的金矿床(宋明 春等,2011;2019)。前人对区内主要矿床的矿床地 质、矿床地球化学、同位素年代学等方面开展了大 量的研究工作(张炳林等,2014;张潮等,2014;卫清 等,2015;Yang et al.,2016;于学峰等,2019;刘向东 等,2019;舒磊等,2022;李杰等,2020),探讨了成矿 作用机制,建立了矿床成因模型。然而,对于矿田 内成矿规律总结还不够深入,区内的深部找矿工作 主要由勘查人员依据实践经验进行钻探部署,尚未 建立有效的找矿预测地质模型。

勘查区找矿预测理论方法体系是自然资源部 矿产勘查技术指导中心以叶天竺为首的科研团队 创立的,该方法通过对勘查区成矿地质体、成矿构 造和成矿结构面、成矿作用特征标志的研究,构建 勘查区找矿预测地质模型,结合物探、化探工作,推 断矿体赋存位置,从而达到指导找矿工作的目的 (叶天竺等,2014;薛建玲等,2018;2020)。近年,该 理论方法在找矿实践中发挥了重要作用,取得了重 要的找矿成果(程家龙等,2020;陈辉等,2021)。

因此,本文在近年来焦家金矿田深部调查工作 总结的基础上,运用勘查区找矿预测理论,对区内 的成矿地质体、成矿构造和成矿结构面、成矿作用 特征标志进行了研究,构建了勘查区找矿预测地质 模型,并以该模型为指导开展了深部找矿预测,圈 定了深部找矿靶区,进行了钻探验证,取得了良好 的找矿效果。

1 地质背景

焦家金矿田所在的胶西北金矿集区位于胶东 半岛的西北部,沂沭断裂带东侧,大地构造位置处 于华北板块(Ⅰ级)内胶辽隆起区(Ⅱ级)的胶北隆 起(Ⅲ级)内。胶西北地区构造以近 EW 向韧性变 形构造与 NNE 向至近 SN 向脆性断裂构造为主, NE—NNE 向断裂构造是胶西北金矿集区内的主要 金矿赋矿构造,自西向东分布三山岛断裂、焦家断 裂、招平断裂。区内中太古代—第四纪地层均有分 布,太古宙地层主要呈包体状零星出露于新太古代 变质侵入岩中,新元古代孔兹岩系主要分布于盆地 周边及莱州—平度以西地区,震旦系出露于北部盆 地中,而白垩纪地层广泛分布于胶莱盆地中。中生 代侵入岩在招平断裂带以西大范围分布,招平断裂 带以东广泛出露中太古代—新元古代变质深成侵 入体(图1)。

焦家金矿田内构造主要以焦家断裂带及其次 级断裂为主。焦家主断裂下盘广泛发育玲珑型花 岗岩、郭家岭型花岗岩。玲珑型花岗岩形成于晚侏 罗世,其岩性以二长花岗岩为主;郭家岭型花岗岩 形成于早白垩世,岩石以似斑状结构为特征,主要 岩性有花岗闪长岩、二长花岗岩、石英二长岩、二长 闪长岩等(王斌等,2021)。钻探工程揭露,中部主 断裂上盘主要为新太古代黑云英云闪长质片麻岩、 中细粒变辉长岩,南北两侧为中生代玲珑花岗岩 (图 2)。区内脉岩主要分布于中生代花岗岩和新太 古代变质深成侵入体内,主要岩性有闪长岩、闪长 玢岩、煌斑岩、辉绿岩、辉绿玢岩、伟晶岩、细晶岩等。

#### 2 成矿地质体

成矿地质体指与矿床形成时间相同或相近,在 空间分布上相依,在成因上有密切联系的地质体, 能够对矿床进行空间定位,是成矿地质作用的实物 载体(薛建玲等,2020)。

区内与金矿成矿时间相近的中生代花岗岩类 主要有郭家岭型花岗岩、伟德山型花岗岩、崂山型 花岗岩。后两者出露岩体均距焦家金矿田30km以 上,且无证据表明焦家金矿田深部存在其隐伏岩 体。而中低温热液矿床一般与成矿地质体的距离 不超过3km(陈柏林等,2019;蒲万峰等,2020)。因 此,伟德山型花岗岩、崂山型花岗岩不是区内金矿 的成矿地质体。

郭家岭型花岗岩的结晶年龄在 123~131 Ma之间(刘跃等,2014;陈广俊等,2014;耿科等,2014;王 立功,2018),区内金矿成矿时间约为 120 Ma(Li et al.,2003),晚于郭家岭型花岗岩成岩时间,成岩与 成矿最大时间差在 3~11 Ma内,为岩浆期后热液型 金矿。郭家岭型花岗岩与金矿成矿在时间上相近。

郭家岭型花岗岩的主要特征是大部分单元含 有钾长石斑晶(3~5 cm,大至 15 cm),具似斑状结 构,钾长石斑晶多具有包含结构,晶体内含大量的 矿物包裹体,成分以斜长石、角闪石、黑云母为主。

胶东地区大型—超大型金矿床多位于郭家岭 型花岗岩附近。郭家岭型花岗岩受基底构造控制





Fig. 1 The simplified regional geological mineral map of gold ore-concentrating area in the Northwestern Jiaodong

(于学峰等,2012),胶西北地区出露的三山岛岩体、 上庄岩体、北截岩体、丛家岩体等郭家岭型花岗岩 体大致沿75°~85°方向分布,三山岛、焦家、玲珑等 金矿田也大致相应地沿此方向分布。主要金矿床 与地表出露岩体的距离较大,但近年来的勘查资料 显示,郭家岭型花岗岩在深部呈小岩株状隐伏出 露<sup>02</sup>(梁平等,2018),这些隐伏的郭家岭型花岗岩 分布广泛,在焦家金矿体深部及夏甸-大尹格庄金 矿田施工的钻孔中均有揭露。郭家岭型花岗岩与 金矿床在空间上相依。

焦家金矿田金矿石的 $\delta^{34}$ S值在4‰~11‰范围 内(张潮等,2014;姜盛洪等,2015;李杰等,2020), 与区内的几种地质体都有重合部分(图3)。可能与 成矿地质体对先形成的地质体的熔融或热液对围 岩的交代和萃取有关,从而继承了硫源。胶东地区 金矿成矿物质是多源的(郭林楠等,2014;王力等, 2014;张潮等,2014),郭家岭岩体对成矿的主要作 用是为成矿提供了热液流体(梁平等,2018),对成 矿具有决定性作用。

综上所述,郭家岭型花岗岩与金矿床在时间上 相近,空间上相依,控制了金矿田的分布范围,是区 内的金矿成矿地质体。

# 3 成矿构造和成矿结构面

焦家金矿田受控于焦家主干断裂及其次级断裂,成矿构造系统为断裂成矿构造系统,成矿结构 面为断裂构造,主要包括主断裂面、次级断裂面、裂 隙面等。 焦家断裂带由焦家主干断裂及下盘的望儿山 断裂、侯家断裂及河西断裂等次级断裂组成。主断 裂已控制长约 6.5 km,宽 140~500 m,工程控制最 大斜深 6650 m,最大垂深 2850 m(于学峰等, 2019),走向 0°~30°,倾向 W—NWW。平面或剖面 上呈舒缓波状延伸,其在倾向上表现为"上陡下 缓",走向上表现为"南陡北缓"的特点,浅部近 60°~70°;深部北段倾角平均 19°,南段倾角平均 27°。中间部位沿新太古代变质岩与晚中生代花岗 岩接触带展布,南北两侧及深部发育于晚中生代花 岗岩中。

主断裂一般见以灰黑色断层泥为标志的主裂 面,厚度为1~30 cm。在-1500 m 以浅,蚀变带根据 动力变质和蚀变程度可分为绢英岩化糜棱岩和碎 裂岩带、绢英岩化花岗质(或变辉长岩质)碎裂岩 带、绢英岩化花岗岩(或变辉长岩)带、钾长石化花 岗岩带,各岩性带之间界线多呈渐变过渡关系,蚀 变和矿化在主裂面下盘较发育(宋明春等,2020)。 在-1500 m 以深,破碎蚀变情况一般较复杂,常出现 强弱反复的情况。

断裂构造系统结构面力学性质的判定,主要依 据其形态、构造岩结构及赋存的矿体的空间分布特 征、矿石结构等。压性及压扭型结构面形态特征一 般表现为舒缓波状,尖灭再现特征;构造岩中发育 断层泥、糜棱岩:赋存的矿体倾斜延伸大于走向延 长,矿体规模大,厚度稳定。张性及张扭性结构面 形态特征为锯齿状、不规则状、折线状、筒状;断裂 构造岩以常见断层角砾岩为特征;赋存的矿体延长 大于倾向延伸,矿体规模小,厚度变化大(叶天竺 等,2014;薛建玲等,2018;2020)。焦家断裂具有多 期次活动性,糜棱岩中矿物组合为绿片岩组合,其 中长英质矿物发生明显塑性变形,反映了早期的高 温韧性挤压变形环境;而碎裂岩系反映了脆性变 形,成矿期表现为张性,成矿后表现为压扭性特征 (王中亮等,2012;杨立强等,2019)。焦家断裂结构 面形态为舒缓波状,发育断层泥,赋存的金矿体规 模大,倾斜延伸大于走向延长,表明成矿期前的压 性构造活动影响了金矿的整体分布及规模。

断裂拐弯部位,次级断裂及局部裂隙发育部 位、断裂交会处、断裂分支处,断裂倾角变化部位等 是矿体富集的有利部位(宋明春等,2020)。

区内大量的勘查资料表明,断裂与岩性界面

(新太古代变质岩与中生代花岗岩接触面)复合的 部位,有利于金矿的富集。新太古代变质岩对区内 金矿的富集具有重要作用。中生代花岗岩类刚性 大,受应力易生成裂隙,而新太古代英云闪长岩质 片麻岩及变辉长岩等变质岩类塑性相对大,不易破 碎,能起到上部"隔离层"作用,使成矿物质富集于 "隔离层"下碎裂岩中,一般"隔离层"越靠近碎裂岩 带,蚀变带厚度越小,矿化越集中,矿体厚度越大, 品位越高(图 4-a)。而断裂位于花岗岩中且上盘无 新太古代变质岩"隔离层"时或"隔离层"距碎裂岩 带较远时,热液中的成矿物质较分散,断裂上下盘 蚀变带厚度均较大,矿化较为分散,矿体厚度小,品 位一般较低(图4-b)。焦家金矿田中部朱桥以北大 面积的新太古代变质岩分布,是深部金矿富集部 位;而两侧新太古代变质岩分布范围小,多呈包体 状分布于二长花岗岩中,蚀变带厚度大,矿化分散。

## 4 成矿作用特征标志

#### 4.1 矿床宏观地质特征

焦家金矿田内的金矿类型以破碎带蚀变岩型 为主,次级构造内有少量石英脉型金矿产出。破碎 带蚀变岩型金矿赋存于主要控矿断裂或其次级断 裂下盘的蚀变花岗岩中,多呈似层状、板状、脉状、 透镜状,规模大,长可达几千米,延深局部可达 3000 m,厚度几米至几十米,在纱岭矿区内局部可达近 百米。

#### 4.2 矿物特征

矿石矿物中黄铁矿是主要的载金矿物,含量达 1%~15%,最高达30%以上,一般呈半自形、自形晶 粒状和不规则粒状,主成矿阶段的载金黄铁矿呈立 方体,发育显微裂隙(迟乃杰等,2020),浸染状或脉 状分布,另外还含有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等金属 矿物。脉石矿物主要由石英、绢云母和方解石组 成。主要矿石类型有黄铁绢英岩化的碎裂岩型、花 岗质碎裂岩型、花岗岩型等。矿石具碎裂结构、碎 斑结构、变余花岗结构、填隙结构、包含结构,浸染 状和脉状构造。

#### 4.3 **围岩蚀变特征**

围岩热液蚀变类型主要有钾长石化、绢英岩 化、黄铁绢英岩化、硅化、碳酸盐化等。破碎带蚀变 岩型金矿矿化蚀变分带明显,钾长石化蚀变分布范 围广,一般位于外侧,绢英岩化、黄铁绢英岩化、硅





化、碳酸盐化等一般位于中心部位。钾长石化为成 矿前蚀变,碳酸盐化为成矿后蚀变,绢英岩化、黄铁



图 3 焦家金矿田矿石硫同位素组成与主要相关地质体对比 Fig. 3 Comparison of sulfur isotopic compositions between the gold ores and related major geologic bodies in Jiaojia gold field

绢英岩化为成矿期蚀变,蚀变程度与矿石品位呈 正比。

# 5 找矿预测地质模型

通过以上总结分析,建立了找矿预测地质模型 (图 5),总结了区内典型矿产地质预测要素(表 1)。

焦家金矿田成矿地质体为早白垩世花岗岩。 成矿构造系统为断裂成矿构造系统,成矿结构面为 NNE 向断裂带,主要包括主断裂面、次级断裂面、裂



a-招贤矿区 320 勘查线;b-招贤矿区 120 勘查线

隙面等。焦家金矿田矿床规模大,沿倾向延伸大, 与矿化相关的围岩蚀变主要有绢英岩化、黄铁绢英 岩化、硅化等。黄铁矿为主要载金矿物,主要矿石 类型有黄铁绢英岩化的碎裂岩型、花岗质碎裂岩 型、花岗岩型等。

早白垩世,以壳源为主、壳幔混合的花岗质岩 浆侵位形成的高温、高氧逸度、高碱性的岩浆热液 流体沿主断裂进行了广泛的渗透交代,在围岩中, 特别是玲珑型花岗岩形成大范围的钾长石化,这种 交代作用不但使流体温度、氧逸度、碱度降低,而且 还萃取了围岩中的金质,使流体中的金质进一步富 集。随着流体温度、氧逸度和碱度降低,流体对钾 长石化的围岩进一步渗透交代,形成一定范围的绢 英岩化、硅化、黄铁矿化,热液中硫的活度降低,金 硫络合物分解,金沉淀富集成矿(刘向东等,2019)。 6 深部靶区圈定及钻探验证

#### 6.1 靶区圈定及钻探部署

区内的成矿地质体早白垩世郭家岭型花岗岩 体多隐伏于断裂带下盘,该类型花岗岩与侏罗纪玲 珑型花岗岩均表现出低重力、高电阻率等特征,仅 磁性略有差异,但总体物性差异较小,目前无法准 确区分深部隐伏的侏罗纪玲珑型花岗岩与白垩纪 郭家岭型花岗岩类,且成矿地质体与矿床的距离最 大可达3 km,为中远程成矿。因此,成矿地质体对 矿集区内金矿田的分布具有明显的控制作用,但无 法利用成矿地质体对矿体进行定位。

焦家金矿田自焦家经朱郭李家到纱岭,金矿体 分布具有明显的侧伏规律(图6),该侧伏规律可判 断矿体的大致分布范围。

	Table 1	Factors for geological prospecting and prediction of Jiaojia gold field	I
预测要素 矿床类型		描述内容	预测要素分类
		中低温岩浆热液型金矿	
成矿地 质背景	大地构造位置	华北板块(Ⅰ)、胶辽隆起区(Ⅱ)、胶北隆起(Ⅲ)、胶北断隆(Ⅳ)之胶北凸 起(Ⅴ)	重要
	区域成矿带	滨太平洋成矿域(Ⅰ级)、华北成矿省(Ⅱ级)、胶东(次级隆起)金-铁- 钼-菱镁矿-滑石-石墨成矿带(Ⅲ)	重要
	成矿时代	早白垩世	重要
	构造环境	克拉通破坏伸展构造环境	重要
	构造背景	胶东构造岩浆岩亚带,胶北侵入岩段	重要
矿床 特征	成矿地质体	早白垩世花岗岩	必要
	成矿构造与 成矿结构面	成矿构造系统为断裂成矿构造系统,成矿结构面为 NNE 向断裂构造	必要
	矿物组合	自然金、黄铁矿、石英、绢云母、长石	重要
	结构构造	晶粒结构、碎裂结构、填隙结构、包含结构、交代结构、假象结构;浸染状构造、脉状构造、细脉浸染状构造、斑点状构造	次要
	围岩蚀变	钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化、绿泥石化	重要
成矿物理 化学特征	成矿压力 及深度	成矿压力 82~170 MPa,成矿深度范围为 7.40~11 km,为中深成相(卫清, 2015;王力等,2016;赵泽霖等,2020)	重要
	成矿温度	180~320℃(卫清,2015;王力,2016;赵泽霖等,2020)	重要
	成矿物质来源	成矿流体以壳源为主,但有幔源物质加入(郭林楠等,2014;宋国政等, 2018;赵泽霖等,2020;祝培刚等,2021)	重要
	成矿流体来源	岩浆水、大气水(赵泽霖等,2020)	重要

表1 焦家金矿田找矿地质预测要素





焦家金矿田内金矿受控于焦家主干断裂及其 次级断裂,其构造形态、产状、结构特征等决定矿化 的强弱,控制了矿体的分布范围。利用可控源音频 大地电磁测深等物探手段可对断裂的形态、产状、 结构特征等进行推测,达到预测深部矿体的目的。

焦家断裂总体以压性为主,断裂性质决定矿体 沿倾向延伸大。浅部矿化富集程度高,可作为预测 深部的重要依据。

断裂构造与中生代花岗岩和新太古代变质岩 的接触界面复合部位成矿物质富集。该特征可作 为圈定金矿富集区的依据。

根据以上规律,圈定了2处深部找矿靶区(图6)。

(1)大西庄找矿靶区:从成矿地质条件分析, 56-184 线矿体均未封闭,88 线施工的3个钻孔自 浅部至深部厚度逐渐变大,88ZK05 钻孔见矿累计 厚度达32.57 m,表明深部找矿潜力较好。区内开 展了可控源音频大地电磁测深工作,从视电阻率断 面图上看,断裂带继续向下延伸的趋势较明显(图 7),产状较平缓。焦家断裂成矿前为挤压-剪压构 造体制,在该构造体制下断层产状相对平缓的部位 呈张性,形成贯通性较强的钾长石化蚀变带,有利 于热液的运移并富集成矿(图8)(王中亮等,2012; 杨立强等,2019)。据此部署了88ZK07 钻孔,同时 据矿体侧伏规律部署了184ZK09 钻孔。

(2)大任找矿靶区:据物探资料推断,该靶区位 于断裂构造与中生代花岗岩和新太古代变质岩的 接触界面复合部位,深部找矿条件优越。240-352线深部均未封闭,厚度等值线显示其矿体富 集部位向西部继续延伸。据此部署了 352ZK03 钻孔。



Fig. 6 Longitudinal projection diagram of main ore body in Jiaojia gold field



293°∠3°

焦家断裂



上下盘运动方向

 $180^{\circ} \times 84^{\circ}$ 

下盘

≻

#### 6.2 验证结果

 $\blacktriangleright$ 

#### 6.2.1 大西庄找矿靶区

张性区

应力方向

该靶区内施工验证钻孔 2 个,后续又施工钻孔 3 个,对矿体进行了控制。该靶区的主要特征为绢 英岩化蚀变带厚度较大,矿化较分散,矿体厚度较 小,品位较低。绢英岩化蚀变带上部一般具有几百 米厚的钾长石化带。作为主裂面标志的黑色断层 泥多位于蚀变带靠下的位置,断层泥以下黄铁绢英 岩化碎裂岩厚度较小,局部缺失,厚度较大的矿体 多位于主裂面之上的绢英岩化花岗岩中。

施工的验证钻孔地质情况如下。

(1)88ZK07 钻孔

焦家破碎蚀变带上盘以玲珑型含黑云二长花 岗岩(图 9、图版 I -c、d)为主,中基性脉岩广泛侵 入,钾长石化较普遍;破碎蚀变带倾向平均 286°,倾 角平均 15°,厚度近 270 m,由绢英岩化花岗质碎裂

分层深度加	分层厚度加	岩性花纹	岩性简述
		\(\) + // +	以黑云母二长花岗岩为主,
		+ // + 11	局部钾化
1309.25	1309.25		
		+ K + K	
			以钾化花岗岩为主,
1571.61	262.36	K + K +	
1593.82	22.21	+ // + //	黑云母二长花岗岩
1632.03	38 21		绢英岩化花岗岩
1032.03	30.21		
		Au 1.45g/t	黄铁绢英岩化碎裂岩与黄铁
1676.10	44.07	2	绢英岩花岗质碎裂岩互层
1695.40	19.30		绢英岩化花岗质碎裂岩
1702.16	6.76	Au 1.44g/t	黄铁绢英岩化碎裂岩
1709.34	7.18		细粒闪长岩
1719.51	10.17	+ // + \\	黑云母二长花岗岩
1734 94	15.43	Au 3.14g/t	绢英岩化二长花岗岩
1743.11	8.17		黑云母二长花岗岩
1757 75	14.64		组革要化一长龙岗要
1779.76	22.01	Au 3.66g/t	黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩
			黄铁绢革岩化碎裂岩
		主裂面断层泥	
1831.08	51.32		J
1851.44	20.36		绢英岩化花岗质碎裂岩
1871.75	20.31		绢英岩化花岗闪长岩质碎裂岩
1885.25	12 50	+ $+$ $+$ $+$	们在开步带出口长马
1004.24	13.40		IN MENTAL NICHARD

图 9 焦家金矿田 88ZK07 钻孔柱状简图

Fig. 9 Borehole histogram of 88ZK07 in Jiaojia gold field

岩、绢英岩花岗岩组成,在破碎蚀变带下部有标志 性断层泥出露,厚度为8 cm,断层泥形成蚀变带上 下截然的界线,断层泥以上矿化蚀变强,发育4条矿 体,累计真厚度为8.35 m,平均品位为2.69 g/t。矿



a. 似斑状花岗闪长岩; b. 似斑状花岗闪长岩显微照片(左上角为钾长石斑晶); c. 黑云母二长花岗岩; d. 黑云母二 长花岗岩显微照片; e. 细脉浸染状金矿石; f. 多金属硫化物; g. 金矿物包含在黄铁矿中; h. 金矿物呈长角粒状分布 在黄铁矿裂隙中。Kfs一钾长石; PI-斜长石; Qtz-石英; Bt-黑云母; Py-黄铁矿; Sp-闪锌矿; Gn-方铅矿; Ccp-黄铜矿; Au-金矿物

石类型以黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩或黄铁绢英 岩化花岗岩为主,矿石多呈脉状,局部网脉状构造, 矿化细脉中成分为金属硫化物及石英、绢云母等 (图9、图版 I-e~h)。断层泥以下矿化蚀变较弱, 未发育金矿体;破碎蚀变带底盘(下盘)见有早白垩 世郭家岭型花岗岩(图版 I-a、b)。

(2)184ZK09 钻孔

184ZK09 钻孔终孔孔深 2108.09 m,孔内地质 情况见图 10。

该孔揭露的焦家主断裂蚀变带,视厚度 253.62 m,带内具钾长石化、硅化、绢英岩化、黄铁矿化、绿 泥石化、绿帘石化等矿化蚀变现象。在 1779.03 m 见焦家带主裂面,主裂面以上自 1634.77 m 发育绢 英岩化花岗质碎裂岩,绢英岩化花岗岩,黄铁矿绢 英岩化碎裂岩等;主裂面以下至 1888.39 m,主要岩 性为绢英岩化碎裂岩、硅化碎裂岩、钾长石化黄铁矿 化碎裂状花岗岩、硅化花岗质碎裂岩、硅化碎裂状花 岗岩等,其中 1831.04~1856.31 m 为中粗粒黑云母二 长花岗岩;1679.92~1682.92 m 发育一矿体,真厚度 2.80 m,平均品位 2.11 g/t;1777.60~1779.38 m,发 育一矿体,真厚度为 1.66 m,平均品位 1.14 g/t。

分层深度/m	分层厚度/m	岩性花纹	岩性简述
9.94	9.94	0 0 0 0	第四系
		» + »	主要为中粒黑云母二 长花岗岩,充填中基 性脉岩。
1255.01	1245.07	+ ~ +	
1634.77	379.76	+ K + + K +	钾化花岗岩
1649.72	14.95		绢英岩化花岗质碎裂岩
			弱绢英岩化钾化花岗 岩
		/ Au2.11g/t	
1764.43	114.71	Au 1 14 a/t	黄铁绢英岩化花岗质
1771.96	7.53	Au 1.14 gr	碎裂岩
1788.47	16.51	/	黄铁绢英岩化碎裂岩
1800.96	12.49		硅化花岗质碎裂岩
1831.04	30.08		钾化、黄铁矿化碎裂 状花岗岩
1856.31	25.27	» + <i>»</i>	黑云母二长花岗岩
1888.39	32.08		硅化碎裂状花岗岩
		× + //	  黑云母二长花岗岩
2108.09	219.7	+ ~ +	



#### 6.2.2 大任找矿靶区

352ZK03 验证钻孔终孔孔深 2439.43 m。其中 42.74~1920.05 m 为新太古代变质岩,位于破碎蚀 变带上盘。2242.45~2409.88 m 为焦家主构造蚀变 带,蚀变带倾向 NW,倾角 32°;视厚度 167.43 m,真 厚度约 137 m,蚀变带内赋存矿体 4 个,厚度总计 25.77 m,其中赋存于黄铁绢英岩内的主矿体厚度 14.72 m,平均品位 5.25 g/t(图 11)。蚀变带内地质 情况如下。

(1)2242.45~2320.08 m, 黄铁绢英岩化二长 花岗岩, 其中 2308~2314 m, 沿裂隙面发育黄铁矿 细脉, 发育一矿体, 真厚度 4.91 m, Au 平均品位 1.70 g/t。

(2)2320.08~2333.53 m, 黄铁绢英岩化花岗质 碎裂岩, 黄铁矿化、绢英岩化、硅化、绿泥石化等蚀 变矿化沿裂隙面发育, 2323.08~2329.08 m, 发育一 矿体, 真厚度为 4.91 m, Au 平均品位 3.12 g/t。

(3) 2333.53~2363.51 m, 黄铁绢英岩化花岗 岩, 2351.83~2353.33 m, 发育一矿体, 真厚度 1.23 m, Au 平均品位 7.28 g/t。

分层深度/m	分层厚度/m	岩性花纹	岩性简述
42.74	42.74		第四系
			英云闪长质片麻岩为 主,含变辉长岩包体, 二长花岗岩侵入体发 育。
1920.05	1887.31		
		\\ + // ++ \\ + \\ + //	二长花岗岩,局部碎 裂状。
2242.45	322.40	N + // +	
			黄铁绢英岩化二长花 岗岩
2320.08	77.63	Au 1.70 g/t	
2333.53	13.45		黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩
2363.51	29.98	Au 3.12 g/t Au 7.28 g/t	黄铁绢英岩化花岗岩
2381.77	18.26	Au 5.25 g/t	黄铁绢英岩
2389.40	7.63		黄铁绢英岩化硅化石英脉
2409.88	20.48		碎裂状花岗岩
2439.43	29.55	\(\) + // + + \(\) + //	二长花岗岩

#### 图 11 焦家金矿田 352ZK03 钻孔柱状图

Fig. 11 Borehole histogram of 352ZK03 in Jiaojia gold field





(4)2363.51~2381.77 m, 黄铁绢英岩, 黄铁矿 呈细脉状、团块状、浸染状、星点状分布(图 12-a)。 在细脉状、团块状石英(脉)发育的部位, 黄铁矿也 较发育。2360.83~2378.83 m, 发育一矿体, 真厚度 14.72 m, Au 平均品位 5.25 g/t。

(5)2381.77 m 处发育约厚 5 cm 的灰黑色断层 泥(图 12-b)。据样品分析结果,蚀变带内以 2381.77 m处的灰黑色断层泥为界,断层泥以上矿化 明显,断层泥以下无矿化。

(6) 2381.77~2389.40 m, 黄铁矿化硅化石英脉, 石英脉呈乳白色, 较纯净。

(7)2389.40~2409.88 m,碎裂状花岗岩。

6.3 资源潜力

大西庄找矿靶区内目前已施工钻孔 4 个,估算 潜在矿产资源 32 t。大任靶区位于断裂构造与中 生代花岗岩和新太古代变质岩的接触界面复合部 位,成矿地质条件优越,验证钻孔 352ZK03 揭露的 矿体厚度大、品位高,初步预测资源量应在 100 t 以上。

# 7 结 论

(1)构建了焦家金矿田找矿预测地质模型:早 白垩世郭家岭型花岗岩为区内金矿的成矿地质体。 成矿构造系统为断裂成矿构造系统,成矿结构面为 NNE向断裂带,主要包括主断裂面、碎裂岩、次级断 裂面、裂隙面等。成矿结构面的构造形态、产状及 结构特征等控制了矿体的分布范围、规模和产态。 热液蚀变类型主要有钾长石化、黄铁矿化、绢英岩 化、硅化、碳酸盐化等。 (2)圈定了大西庄和大任 2 处深部找矿靶区, 经钻探验证,均揭露到深部金矿体。其中,大任找 矿靶区内揭露的矿体厚度大、品位高,是深部富矿 地段,找矿潜力大。

## 注释

- ①郭瑞朋,于晓卫,王立功,等山东省莱州-招远金矿整装勘查区综合研究报告[R].山东省地质调查院,2018.
- ②祝培刚,于晓卫,王立功,等.山东省焦家地区深部资源调查子项目 成果报告[R].山东省地质调查院,2019.

#### 参考文献

- Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J, et al.<sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China [J]. Journal of the Geological Society, 2003, 111: 741–751.
- Yang L Q, Deng J, Guo R P, et al. World-class Xincheng gold deposit: An example from the giant Jiaodong gold province [J]. Geoscience Frontiers, 2016, 7: 419-430.
- 陈辉,林鲁军,庞振山,等.四川会理拉拉铜矿找矿预测模型构建与找 矿示范[J].地学前缘.2021.https://doi.org/10.13745/esf.sf.2021.1.29.
- 陈柏林东昆仑五龙沟金矿田地质特征与成矿地质体厘定[J].地质学报,2019,93(1):179-196.
- 程家龙,崔子良,李俊,等.云南省保山市西邑大型铅锌隐伏矿床找矿 预测地质模型[]].吉林大学学报,2020,50(5):1450-1461.
- 陈广俊,孙丰月,李玉春,等.胶东郭家岭花岗闪长岩 U-Pb 年代学、地 球化学特征及地质意义[]].世界地质,2014,33(01): 39-47.
- 迟乃杰,韩作振,单伟,等.胶西北焦家断裂带深部载金黄铁矿标型特 征研究及其地质意义[J].地球学报,2020,41(6):949-962.
- 邓军,徐守礼,吕古贤,等胶东西北部断裂构造与成矿作用研究[J].现 代地质,1996,10(4):502-511.
- 耿科,王瑞江,李洪奎,等胶西北丛家花岗闪长岩体 SHRIMP 锆石 U−Pb年代学研究[J].地球学报,2014,37(1):90-100.

- 郭林楠,张潮,宋宇宙,等.胶东望儿山金矿床氢-氧同位素地球化 学[J].岩石学报,2014,30(9):2481-2494.
- 李杰,宋明春,梁金龙,等.焦家深部金矿床成矿流体来源:来自黄铁矿 微量元素 及 S、He、Ar 同位素的约束[J].岩石学报,2020,36(1): 297-313.
- 刘跃,邓军,王中亮,等胶西北新城金矿床二长花岗岩岩石地球化学、 锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素组成[J].岩石学报,2014,30(9): 2559-2573.
- 刘向东,邓军,张良,等.胶西北寺庄金矿床热液蚀变作用[J].岩石学 报,2019,35(5):1551-1565.
- 姜盛洪,王长明,赵海,等.新城金矿稳定同位素地球化学特征及成矿 物质来源探讨[J].地质与勘探,2015,51(1):68-78.
- 梁平,祝培刚,祝德成,等.胶西北大尹格庄斑状花岗岩地球化学特征及 地质意义[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(4):22-34.
- 蒲万峰,李鸿睿,袁臻,等.甘肃省玛曲县大水金矿"三位一体"找矿预 测地质模型[J].地质通报,2020,39(8):1163-1172.
- 宋明春,崔书学,姜洪利山东胶西北矿集区和焦家金矿田成矿构造系统[J].地质通报,2011,30(4):573-578.
- 宋明春,宋英昕,丁正江,等.胶东焦家和三山岛巨型金矿床的发现及 有关问题讨论[1].大地构造与成矿学,2019,43(1):92-110.
- 宋明春,林少一,杨立强,等.胶东金矿成矿模式[J].矿床地质,2020,39 (2):215-236.
- 宋国政,李山,闫春明,等.焦家金矿田 I 号主矿体地质特征及找矿方向[]].地质与勘探,2018,54(2):0219-0229.
- 舒磊, 沈昆, 于学峰, 等. 胶西北焦家断裂带深部成矿流体包裹体特征[J]. 地质通报, 2022, 13(6): 1068-1080.
- 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.
- 王力,孙丽伟.山东省寺庄金矿床成矿流体特征[J].吉林大学学报(地

球科学版),2016,46(6): 1697-1710.

- 王力,潘忠翠,孙丽伟山东莱州新城金矿床流体包裹体[J].吉林大学 学报(地球科学版),2014,44(4):1166-1176.
- 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.
- 王中亮焦家金矿田成矿系统[D].中国地质大学(北京)博士学位论 文,2012.
- 卫清,范宏瑞,蓝廷广,等.胶东寺庄金矿床成因流体包裹体与石英溶 解度证据[J].岩石学报,2015,31(4):1049-1062.
- 薛建玲,陈辉,姚磊,等.勘查区找矿预测方法指南[M]北京:地质出版 社,2018:1-10.
- 薛建玲,庞振山,程志中,等.深部找矿基本问题及方法[J].地质通报, 2020,39(8):1125-1136.
- 叶天竺,吕志成,庞振山,等勘查区找矿预测理论与方法(总论)[M] 北京:地质出版社,2014:231-343.
- 于学峰,杨德平,李大鹏,等.胶东焦家金矿带 3000 m 深部成矿特征及 其地质意义[J].岩石学报,2019,35(9):2893-2910.
- 于学峰,李洪奎,单伟,等.山东胶东矿集区燕山期构造热事件与金矿 成矿耦合探讨.[J].地质学报,2012,86(12):1946-1956.
- 杨立强,邓军,宋明春,等.巨型矿床形成与定位的构造控制:胶东金矿 集区剖析[J].大地构造与成矿学,2019,43(3):431-446.
- 张炳林,杨立强,黄锁英,等.胶东焦家金矿床热液蚀变作用[J].岩石学报,2014,30(9):2533-2545.
- 张潮,刘育,刘向东,等胶西北新城金矿床硫同位素地球化学[J].岩石 学报,2014,30(9): 2495-2506.
- 赵泽霖,李俊建,党智财,等.胶西北焦家金矿深部成矿流体性质及成 矿作用[J].地质评论,2020,66(2):425-438.
- 祝培刚,李秀章,张文佳,等山东纱岭金矿流体包裹体及氢氧硫同位 素特征[J].科学技术与工程,2021,21(24): 10165-10173.