

成果与方法

胶东“玲珑-焦家式”金矿资源潜力与找矿*

李士先,王建收

(山东省青岛地质工程勘察院,山东 青岛 266071)

摘要:“玲珑-焦家式”金矿的成矿成矿,从新太古代至中生代存在着继承性的成因关系,成矿具有长期性、多源性特点,但中生代燕山早期岩浆活动是主导成矿因素。区域化探成果显示胶东金矿直接矿源岩——郭家岭花岗岩金的丰度比原始矿源岩——早前寒武纪变质沉积岩系及侵入岩系金的丰度低 1/2。郭家岭花岗岩面积在 2 km² 以上岩体定量估计金亏损总量与胶东金矿总量预测的资源量相当,从一个侧面展现了胶东金矿资源的潜力。望儿山金矿的找矿实践展示,焦家式金矿在 1 000 m 以下尚有巨大潜力,整个胶东金矿产区在 3 000 m 以上的资源潜力应在 5000 t 以上。

关键词:“玲珑-焦家式”金矿;成矿模式;资源潜力;山东;胶东地区

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A

胶东金矿资源的潜力与能否持续稳定发展,一直是人们所关注的大问题,这里从“玲珑-焦家式”金矿的成矿概念模型为切入点,探讨该类型金矿的资源潜力;另外以莱州望儿山金矿中深部找矿为例,分析金矿的中深部找矿前景及面上“玲珑-焦家式”金矿的找矿方向问题。

1 “玲珑-焦家式”金矿的成矿概念模式

1.1 太古宙“原始矿源岩”的形成

来自地幔(或地核)的携带丰富金质的中基性岩浆的强烈喷发,形成了以中基性喷发岩为主的火山岩建造,即由中太古代唐家庄岩群和新太古代胶东岩群组成的初始矿源层,期间,经历了迁西期和五台期 2 个构造旋回的褶皱变质和混合岩交代作用。初始矿源层大部分转化为栖霞新太古代五台-阜平期的片麻岩套的奥长花岗岩质片麻岩及英云闪长质片麻岩岩系,唐家庄岩群和胶东岩群呈残片分布在这些片麻岩岩系中。古元古代,相当吕梁期构造活动,胶东陆核边缘裂隙槽开启,接受了以陆源碎屑沉积为主的荆山群和粉子山群沉积,这些沉积物继承了太古宙地层或岩体的部分含金性,也具有绿岩带性质。

太古宙至元古宙的多期变质作用,尤其是元古宙早期(2 300 Ma 左右)变质作用,形成胶东 NE 向展布的热背斜(麻粒岩相带),使荆山群、粉子山群产生脱水作用,析出变质热液,它从高能带向低能带,由南向北的迁移过程中,不断淬取胶东岩群中沿轴面片理和低压扩容带充填形成变质热液金矿,另在胶东北部的中低角闪岩相带形成含量相对较高的金的地球化学背景区。太古宙至元古宙形成的变质岩和交代作用为主形成的片麻岩岩系(TTG 岩系),可统称为“玲珑-焦家式”金矿的“原始矿源岩”,这一时期金矿的成矿作用可称之为金矿形成的“雏型期”。

1.2 新元古代震旦期金矿“衍生矿源岩”的形成

胶东地区,在胶南-文威碰撞带的强烈作用下(720 Ma 左右),受陆核内横张应力的控制,在胶东“原始矿源层”的基体内,随着地幔热流值的不断升高,富含长英质的岩石优先被交代重熔,孕育成广义的新元古代震旦期玲珑花岗岩的雏型,交代中心在郭家店一带。热流体由交代中心向北超覆,并不断重熔“原始矿源岩”系,特别是相对含金高的中低角闪岩相带的变质岩系,致使矿源中的金质活化、扩散、迁移,迁移的结果总是向超覆前缘进行的,致使

收稿日期:2004-10-22;修订日期:2006-07-15;编辑:张天祯

作者简介:李士先(1936-),男,山东龙口人,教授级高级工程师,长期从事金矿地质勘查研究工作。

现在的焦家—玲珑一带和金牛山地区形成金的高背景区。由于重熔作用发生的深度较大,构造不发育,金等成矿元素以高丰度散布在岩石中。胶东地区广泛发育的新元古代震旦期玲珑花岗岩可称之为胶东金矿的“衍生矿源岩”。至此,胶东地区克拉通再次形成,结束早期成矿作用过程中金的“预富集期”。

1.3 中生代燕山早期“直接矿源岩”的形成与成矿

在太平洋板块向库拉板块俯冲作用下,郯庐断裂强烈活动,其大规模的左行平移所形成的次级应力场,产生了一系列 NE—NNE 向控矿断裂构造,同时发生强烈的构造-岩浆热液事件,胶东隆起再度大规模活化,来自地幔的以中酸性成分为主的岩汁上涌,和下地壳部分岩石熔融形成的岩浆,沿 EW 向断裂底辟上升而强烈主动侵位,岩体以正常结晶分异为主,同熔了上地壳胶北“原始矿源岩”和“衍生矿源岩”系,形成了 EW 向展布的斑状花岗闪长岩带。岩浆岩属壳幔混合源花岗闪长岩体,在岩浆结晶分异过程中,来自地幔的热液携带成矿组分和挥发分,熔融交代“原始矿源岩”和“衍生矿源岩”,使其金质活化、转移。这样,地壳中的深源流体和变质水、“衍生矿源岩”形成的再生岩浆流体与郭家岭同熔型岩浆期后热流体,混合形成成矿热流体,金质与挥发分、碱质(K, Na 等元素)形成易熔络合物进入流体相,在温度、压力一系列物理化学因素影响下,含矿热液由高能带部位向低能带部位迁移,在已形成的脆性断裂裂隙中沉淀富集成矿。当含金热液流经宽大的构造破碎带时,由于无水的加入,加速了金质沉淀,形成规模大的破碎带热液蚀变岩型金矿(焦家式);而当充填于以剪切作用为主的断裂裂隙时,则形成规模相对较小的石英脉型金矿(玲珑式)。

概言之,胶东焦家式和玲珑式金矿,其成岩成矿,从太古宙—中生代,有着继承性或者说是“承袭”的成因关系,表明胶东金矿成矿的长期性、多来源的成因特点,但中生代燕山早期的构造岩浆活动是最主导的成矿因素,是属于壳幔混合、以地壳物质组分为主的深熔再生岩浆期后热液矿床^[1]。成矿模式如图 1。

2 郭家岭超单元对“玲珑—焦家式”金矿成矿的定量估算

中生代燕山早期郭家岭超单元对胶东金矿的重

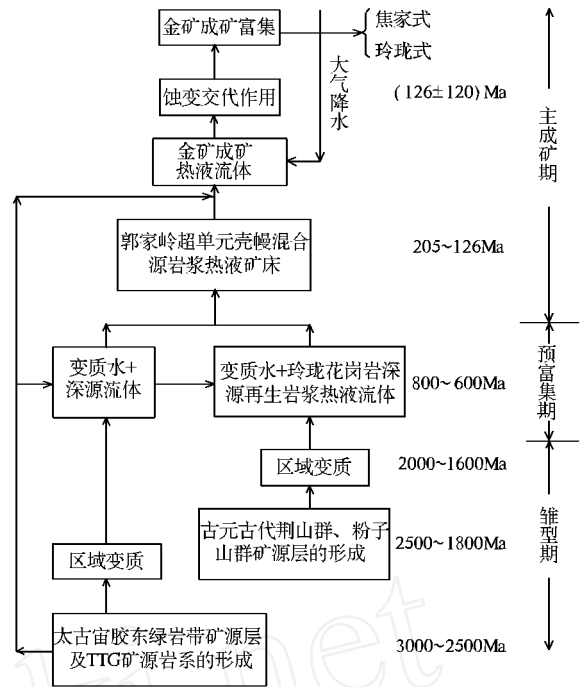


图 1 胶东地区焦家式及玲珑式金矿模式图解

要性,历来为金矿地质工作者所共识,都承认郭家岭超单元是胶东金矿的“直接矿源岩”,新一轮的 1:20 万区调积累了丰富的变质地层和不同期岩浆岩金的丰度资料,进而有力地证实郭家岭花岗闪长岩体对胶东“玲珑—焦家式”金矿的定量贡献。

新的金丰度测试结果:胶东岩群金丰度平均为 1.67×10^{-9} ,粉子山群平均为 1.75×10^{-9} ,荆山群平均为 1.36×10^{-9} ,玲珑花岗岩平均为 1.79×10^{-9} ,郭家岭超单元平均仅为 0.80×10^{-9} (表 1—表 4)。以上测定结果表明:胶东地区无论是变质地层还是岩浆岩,金丰度普遍低于地壳平均丰度值(4×10^{-9});不同时期的变质地层金的平均丰度基本一致;公认的金矿的“直接矿源岩”郭家岭超单元金的丰度最低,仅为胶东岩群及玲珑花岗岩的 1/2。如何解释这种结果呢?笔者认为,玲珑花岗岩在其以胶东岩群、荆山群、粉子山群和 TTG 岩系的基体上,经交代深熔的成岩过程中,尽管存在金质的再分配,表现其不同单元金的丰度的分布差异,但金总体继承性封闭在超单元的诸岩体中,没有形成独立的规模矿床。郭家岭超单元,是由来自地幔的富含 K,

山东地矿局,1:20 万蓬莱幅、莱阳幅、潍坊幅区域地质调查及区域化探报告,1985 年,1991 年,1996 年。

Na, Si 的岩汁及挥发组分, 在高温、高压条件下, 交代胶东岩群、玲珑超单元和 TTG 岩系形成的深熔花岗闪长岩体, 岩体中的金仍然是由被交代的地层和

岩体继承下来, 其中游离的单体金被活化析出, 以热液迁移搬运到控矿的断裂裂隙中富集成矿。基于这种认识, 对郭家岭超单元析出金总量做了定量估算。

表 1 1 20 万蓬莱幅烟台幅变质地层岩石金丰度值统计

群	组	岩石名称	样品个数	平均含量	标准离差	变异系数	组加减权平均	组离差	组变异系数	群加权平均
			(个)	(10^{-9})	(S)	(CV)	(10^{-9})	(S)	(CV)	
古 元 古 代 粉 子 山 群	岗 前 组	黑云片岩	15	151.85	2.33	126	1.88	2.20	117	1.75(61)
		石英岩	2	2.11	1.32	63				
	巨 屯 组	石墨大理岩	5	2.90	3.11	107	2.29	2.43	106	
		含石墨黑云变粒岩	7	2.91	2.95	101				
		含石墨透闪岩	6	1.06	1.27	119				
	张 格 庄 组	大理岩	12	1.74	2.54	145	1.29	1.64	127	
		透闪岩	14	0.93	0.93	100				
	祝 家 乔 组	黑云变粒岩	5	0.48	0.14	29	0.54	0.13	27	
		浅粒岩	1	0.63						
		大理岩	1	0.73						
斜长角闪岩		1	0.54							
新 太 古 代 胶 东 岩 群	未 分	二云片岩	11	1.58	1.33	84	1.71	1.69	99	1.71(158)
		黑云变粒岩	33	1.39	1.36	98				
		黑云斜长片麻岩	32	1.42	0.85	60				
		斜长角闪岩	8	1.22	0.51	42				
		变粒岩及片麻岩	74	2.05	2.38	116				

注: 表中括号内数字为样品数。

表 2 莱阳幅潍坊幅变质地层金丰度值统计

界	群	地 层	金丰度值 (10^{-9})		
			分组平均	分群平均	总体平均
古 元 古 界	粉 子 山 群	祝家乔组	2.31(3)	1.93(116)	1.65(314)
		小宋组	1.92(113)		
	荆 山 群	陆崖组	1.98(66)	1.36(198)	
	野头组	1.06(131)			
	禄 格 庄 组	0.69(1)			

注: 表中括号内数字为样品数。

(1) 郭家岭超单元的岩体体积 (km^3): 岩体长 80 km, 宽 10 km, 延深 2 km, 总体积: $80 \times 10 \times 2 = 1620 \text{ km}^3$ 。

(2) 岩体 1 km^3 的重量 (t): $1 \text{ km}^3 = 1000^3 \text{ m}^3 =$

$1000\ 000\ 000 \text{ m}^3$, 若岩体体重按 2.5 t/m^3 计算, 1 km^3 岩体重量: $10^9 \text{ m}^3 \times 2.5 \text{ t/m}^3 = 25 \times 10^8 \text{ t}$

(3) 岩体析出金的总量 (t): 每吨析出量: (胶东岩体金平均丰度) 1.67×10^{-9} — (郭家岭岩体金平均丰度) $0.80 \times 10^{-9} = 0.87 \times 10^{-9}$, 1 km^3 岩体析出的金量为 $2.5 \times 10^8 \text{ t} \times 0.87 \times 10^{-9} = 2.17 \text{ t}$, 岩体析出的金总量为: $1620 \times 2.17 = 3515 \text{ t}$

以上计算参数的确定依据:

(1) 岩体出露宽度, 长度引自 1:20 万蓬莱幅区调报告;

(2) 岩体延深, 据物探队重力报告确定的岩体深度;

(3) 岩体体重依花岗岩的平均体重;

表 3 中生代燕山早期郭家岭超单元花岗质岩石金丰度值统计

岩 石 名 称	样品个数	平均值 \bar{x}	离差	变异系数	平均值 \bar{x}	离差	变异系数
	(个)	(10^{-9})	(S)	(CV)		(S)	(CV)
斑状中粒花岗闪长岩	12	0.77	0.24	31	0.80	0.40	50
斑状中粒角闪二长花岗岩	5	0.58	0.11	20			
斑状中粒角闪石英二长岩	2	0.70	0.06	8			
细粒花岗闪长岩	3	1.37	1.32	96			

表 4 新元古代震旦期玲珑花岗岩金丰度值统计

岩体	岩石名称	样品个数 (个)	平均值 \bar{x} (10^{-9})	离差 (S)	变异系数 (CV)	样品总数 (个)	总平均值
崔召	中粒二长花岗岩	55	1.85	1.61	87		
九曲	弱片麻状中粒二长花岗岩	7	2.29	2.87	125	120	1.79
云山	弱片麻状中细粒二长花岗岩	39	1.66	1.62	97.6		

(4)郭家岭岩体析出金量,依岩体的成因类型,从被交代的胶东岩群平均丰度减去郭家岭岩体成矿单元成矿热液的金剩余量求得。

郭家岭超单元定量析出的金总量 3 515 t,与 1986 年“山东省金矿总量预测报告”中蒙特卡罗方法所计算的 3 500 t(概率 95%)应视为一致,与该报告用回归分析模型所计算的 3 026 t 总量,其吻合度也达到 0.86。时隔近 20 年,用不同方法所进行的总量计算结果高度一致,所不同的是这次用丰度法计算的是对胶东地区总的资源量估算,而 1986 年的计算结果是分配在胶东 36 个预测单元中。截至 2003 年底,胶东地区已累计探明黄金储量约为 1 000 t,从理论上讲,整个胶东地区尚有 2 000 余吨黄金资源待今后勘探开发。如何把可能有的 2 000 t 的预测资源量变成有经济价值的资源量,是值得人们认真探讨的。

3 望儿山金矿中深部找矿的提示

望儿山金矿是焦家断裂带下盘望儿山支断裂控制的过渡类型金矿,1965 年前后,山东省地质六队做过普查评价,浅部提交了 5 t 储量,后冶金地质队在山东省第六地质矿产勘查院控制的浅部矿体南西侧伏方向追加勘探,1985 年又提交了 6 t 金储量,浅部矿体于 - 200 m 以上标高水平状圈闭(图 2)。1990 年前后,冶金地质队在 - 300 m 以下,越过无矿段又发现了工业矿体,1993 年新增储量 28.1 t,其中 1,2 号矿体 26 t,3,4,5 号矿体为主带内分布的小矿体或下盘羽状分支矿体。新增储量在垂直投影图上,控制长 700 余米,垂深 300 余米,于 - 600 m 标高呈水平状尖灭, - 700 m 有 3 个未见矿钻孔又将矿体圈团。望儿山金矿,已控制的矿体平面上看呈多字型排列的脉体或透镜体(图 4),剖面上看呈尖灭再现的脉体,矿体分布在由缓变陡的陡坡处(图 4);矿体虽然受成矿期断裂左行斜落引张开部位(陡坡处)控制,缓坡处则为无矿的构造圈闭处(图 5)。

望儿山金矿矿床规模由小变大的找矿实践,给人们认识焦家式金矿深部找矿以重要提示:浅部矿体,根据侧伏规律布置工程,有效地节省了工作量,加快了矿床评价。浅部矿体两端及深部已被工程圈闭,一般认为到此可万事大吉了,不知勘探者是基于什么思路,越过无矿段 - 300 m 以下又发现了比浅部规模更大的工业矿体,这应是找矿和认识上的重要突破。第二个矿化富集段控制完后,中深部又重复出现了近水平的无矿段,越过这个无矿段, - 800 m 以下能否出现第三个矿化富集区段?同作为焦家式金矿,像望儿山支断裂上有这种富集规律出现,那么位于主干断裂上的焦家、新城、三山岛等现有的特大型金矿的深部找矿又做何种考虑呢?现有的这类矿床中浅部矿体深部都未封闭,即使是封闭了,深部是否像望儿山金矿那样出现第二个富集段(图 5)?与国外同类金矿类比,国内专家计算,普遍认为焦家式金矿的成矿深度在 2 500 ~ 3 000 m,按此思路,深部找矿工作又将做何种部署?

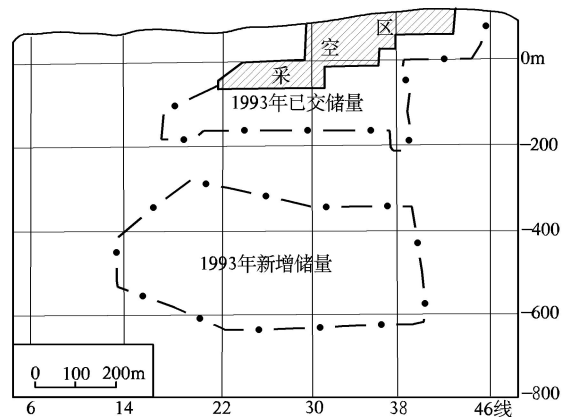


图 2 莱州望儿山金矿垂直纵投影图

4 找矿方向及资源潜力展望

(1)已知重要矿床的中—深部找矿与外圈扩大

山东省地矿局,山东省金矿资源总量预测报告,1987年。

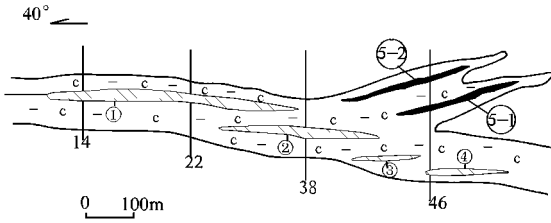


图 3 莱州望儿山金矿矿体平面示意图 (-135m 中段)

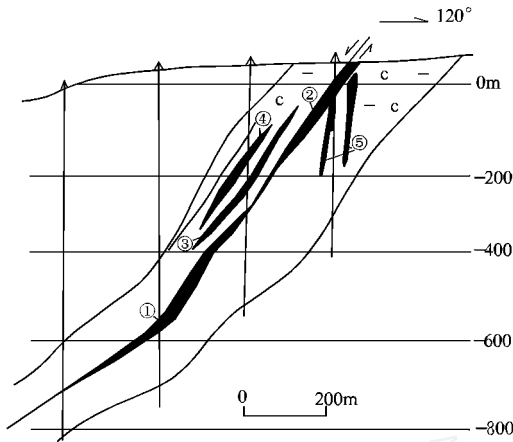


图 4 莱州望儿山金矿区 38 线剖面示意图

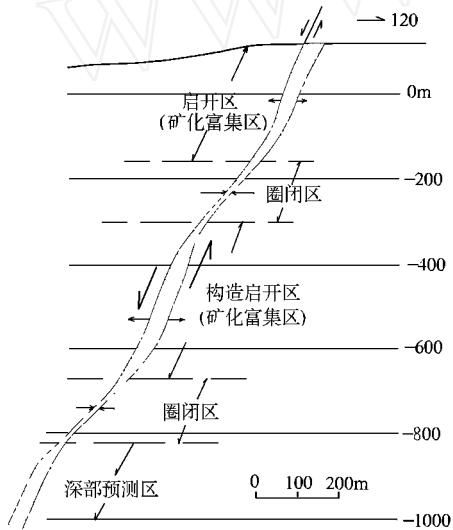


图 5 莱州望儿山金矿剖面矿体特征示意图

找矿。目前胶东焦家式金矿平均探矿深度在 800 m 左右,个别达千余米,依国外同类矿床 3000 余米的延深类比和国内专家对胶东金矿延深的定量计算,胶东焦家式金矿延深也应在 2 000 ~ 3 000 m,目前的控制深度,应视为中浅部矿体,现在是应该向中深部 (1 000 ~ 1 500 m) 探索的时候了。建议在已知重要大型焦家式金矿进行中深部施钻找矿,控制深度拟

1500 m 左右,为配合钻探,应事先做些矿床 (体) 成矿规律的调研和必要的物化探工作,以增强深部找矿工作的科学性。

(2) 胶东西部第四系覆盖区和半覆盖区的找矿。平度西北部、莱州南部和昌邑市的北部地区,是胶东重要控矿断裂——三山岛断裂、焦家断裂南延与郯庐断裂带的交会部位,该区 1981 年预测圈出了黑羊山 (大庄子)、吉戈庄、小韩家和石埠 4 个预测单元,近几年冶金地勘单位已在黑羊山、吉戈庄地区找到了大、中型矿床,该区应是在面上发现新区的重要战略区。

(3) 招金集团发现的招远谢家沟金矿,是近两年胶东金矿找矿的最重要成果。该处金矿的发现,为胶东“玲珑-焦家式”金矿成矿开辟了新的领域,沿招平断裂带下盘的脉岩带,寻找由隐伏的郭家岭花岗岩控制的谢家沟式金矿床,将成为今后找矿的重要方向。

(4) 新类型金矿的找矿。胶东地区变质热液金矿、碳酸盐建造金矿及胶莱盆地周缘的火山期后热液金矿的找矿,目前已有新突破,这方面的找矿亦应予以重视。

20 世纪 80 年代,山东省地矿局对胶东地区的黄金资源总量做了预测,预测资源总量为 3026t,在胶东圈定了矿田级预测单元 36 处,经近 20 余年的找矿实践,在原预测有矿单元中又有苗家、黑羊山 (大庄子)、松椒、牧牛山、龙门口等 5 个矿田,发现了金矿床并探求了资源储量;在原有矿单元中大幅度的扩增了储量规模,充分显示了预测成果的科学性和实践性。

时隔 20 年,现在看来,原总量预测的资源量偏小,表现在以下几个方面: 当时的预测,有的地区综合信息量不足,如平度黑羊山 (大庄子) 预测区,当时缺化探、重砂资料,原预测资源量仅 1.203 t,而现在,已评价的大庄子金矿控制储量近 30 t。作为确定总量的“矿床模型法”,依据的金矿的矿石边界品位为 3×10^{-6} ,现行工作指标已降至 $1 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ 。预测模型单元中大多数矿床的勘探深度在 300 ~ 400 m,预测估算的低界垂深 1 000 m (以台上金矿超深钻孔 1 000 m 见矿深度为依据)。

依胶东现有金矿的开采探矿的发展趋势看,未来胶东金矿的主要增长潜力应在矿床深度上。胶东目前已知主要矿床勘探深度已接近或超过千米,山

东省地矿局第六地质队 20 世纪 80 年代末,在评价玲珑金矿田外围的台上金矿,施工超深孔,在垂直深度千米,控制斜率达 1 400 m 处见厚 32.86 m,平均金品位 5.49×10^{-6} 主矿体。其上与之斜距相距 400 m 的一钻孔,所揭示的主矿略有增高,而其厚度明显增大,由此可见,矿体向深部形态变的更为简单,产状更稳定,矿化强度 ($m \cdot g/T$ 值) 明显增强。

由近 10 余年始,胶东金矿的勘查和开发,表明有不少矿床其矿体垂直延深都在千余米以上,如焦家、新城、东风、马塘、寺庄、夏甸及金青顶等。玲珑金矿田近期的勘探结果也折射出这一特点,该矿田预测资源量为 630 t,粗略估计目前矿区内已查证的资源储量(包括已探明的、控制的和推断的)就已接近此数,而矿田内尚有很大的空间,大量的工业矿体深部有很好的增储潜力。国外有不少受断裂控制的金矿床开采深度已接近 4 000 m。胶东金矿若将矿床的预测深度由 1 000 m 下推至 3 000 m,其金矿的资源总量应在 5 000 t 以上,历史将会见证的。

可以预料,未来胶东金矿的勘查应以“寻新、扫盲、探深”为特点,即应以探索寻找新类型金矿,在未突破的预测矿田中和有成矿希望的“新区”,努力寻找新的大、中型金矿;在覆盖区寻找盲矿体或掩埋矿体;要在一些大、中型金矿矿体的深部探矿增储或在其下部发现尖灭再现的矿体。所有这些都不同于以往已知类型的表露矿、浅部矿的寻找和勘查,总的来说,难度更大。为适应金矿普查找矿的新形势,必须

做好包括技术资料、技术成果、技术方法、技术设备和技术人材等在内的全面技术设备。对于金矿的普查来说,无论是研究关系找矿成败的选区,还是考虑选择相应找矿效果的找矿方法,都需要深入分析欲选普查区的成、控、赋矿的地质条件,全面研究其成矿标志的矿化信息,在此基础上,运用区域成矿规律判断是否可能成矿?在什么地方成矿?以提交选区的成功率;而解决后一个问题还要结合矿床特点及它们外部表征和内涵的综合信息,应用已知的找矿模型或试验研究所总结出来的最佳找矿方法组合,去有效地发现异常和矿化体。这些都需要全面收集前人地质调查、勘查的各种综合信息,还需要伴随勘查工作的逐步深入,不断给予完善和修正。

从认识论的角度出发,人们对胶东金矿的认识还远没有结束,还有大量的未知领域需要去发现去探索。涂光炽先生 2004 年在烟台一次谈话中说:“金元素没有成矿专属性,酸性、超基性、碱性岩都有,东北花的石英岩中也有,金元素无孔不入,要在哪里成矿就在哪里成矿”。涂先生谈话告诫人们,地质找矿不要受传统的理论框框束缚,在胶东地区未来找矿的实践中要勇于实践,不断探索,去追求更大的发展空间,去赢得更辉煌的找矿成果。

参考文献:

- [1] 吕古贤,林文蔚,罗文华,等. 构造物探化学与金矿成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1987.

Potentiality and Ore Exploration of Linglong - Jiaojia Type Gold Resource in Jiaodong Area

LI Shi - xian, WANG Jian - shou

(Qingdao Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Qingdao 266071, China)

Abstract: Ore - forming of Linglong - Jiaojia type gold deposit has the characteristics of long - term and multi - source property, but volcanic movement in early Mesozoic Yanshan period is major element for ore - forming. As proved by regional geochemical achievements, abundance of direct ore source rocks——Guojialing granite is 1/2 lower than its in original ore source rock——metamorphic sedimentary rocks and intrusive rocks in early Precambrian. Estimated gold loss amount of Guojialing granites with the square of 2km^2 is equal to total predication gold amount in Jiaodong gold deposit, which showed there is great gold resource potentiality in Jiaodong area. As proved by ore exploration of Wangershan gold deposit, it is said that there is great potentiality for exploring Jiaojia gold deposit under 1000m, and the total amount of Jiaodong gold mine over 3000m is about 5000t.

Key words: Linglong - jiaojia gold deposit; ore - forming model; resource potentiality; Shandong province; Jiaodong area