

内蒙古赤峰地区金等成矿元素丰度 以及金矿物质来源探讨*

赵善仁 孙世华 毛 骞 姜 能

(中国科学院矿物资源探查研究中心 中国科学院地球物理研究所, 北京)

提 要: 早期发表的金丰度数据相互不能对比, 除了分析灵敏度不够以外, 主要原因是不同作者采用的数据处理方法不同, 可能混入蚀变矿化样品所致。该文采用逐步剔除计算成图求拐点以及直方图累积概率曲线求拐点确定金背景上限值为 5.0×10^{-9} 。据此计算出赤峰地区花岗岩金丰度为 1.23×10^{-9} , 变质岩金丰度为 1.88×10^{-9} , 全区岩石金丰度为 1.35×10^{-9} 。根据变质岩、花岗岩中 Au 等成矿元素丰度以及元素组合特征, 指出太古宙变质岩为金矿原始矿源层 (间接来源, 通过花岗岩重熔), 花岗岩类岩石是金矿的再生矿源岩 (直接来源), 而闪长质岩石则是成矿物质的主要提供者。

关键词: 金丰度 成矿物质来源 金矿床 花岗岩 内蒙古赤峰

内蒙古赤峰地区金矿资源丰富, 是华北地台七个主要金矿集中区之一。目前已发现大小金矿床十几个, 矿化点一百多处。金成矿除取决于有效的成矿作用因素外, 成矿物质来源则是关键问题。金丰度是金矿研究中常涉及到的一个重要参数, 其准确确定在成矿理论研究以及实际找矿工作中均具有重要意义。

1 金丰度研究现状

过去发表的地壳金丰度, 由于受测试技术的限制以及地壳结构模型欠合理等因素的限制, 均高于实际丰度, 是不可靠的, 需重新修订。较合理的地壳金丰度值约为 $1.0 \times 10^{-9} \sim 1.2 \times 10^{-9}$ ^[1]。

80年代后期, 国内对金矿源岩的研究作了大量工作, 主要是集中在地层的含金丰度值方面。越来越多的测试数据表明, 一些过去被视为“矿源层”的地层, 金丰度并不如期望的那么高, 且早期发表的数值同后期的结果相差甚远, 究其原因, 一是因为过去的分析技术落后; 二是可能在数据处理中将一些蚀变矿化样品做为背景处理^[1]。

赤峰地区金丰度的研究, 始于90年代 (表1)。从表1中可看出, 林根柱等 (1990) 测得的本区变质岩类、花岗岩类的金丰度, 因限于当时的分析技术水平, 检出限明显偏高, 且没有剔除蚀变矿化样品, 得出的结果不能作为本区金丰度标准。王时麒等 (1994) 在本区作了大量系统的测试工作, 采集的花岗岩及变质岩样品达529件之多, 具有很好的代表性。金的含量范围为 $0.5 \times 10^{-9} \sim 28.8 \times 10^{-9}$ ^[2], 说明分析灵敏度也达到了较高水平。但由于没有采用有效的数据处理手段, 所得的总体平均值没有排除蚀变矿化的影响, 因而也不适合作为本区岩石金丰度。其他的研究者研究的仅是某一矿区中岩石金的丰度。根据文献检索的结果, 到目前为止, 本区还没有较准确合理的金丰度资料发表。

2 赤峰地区金丰度的测算

基于上述现状, 本文对金丰度的研究, 除了重视采样的代表性及采用先进的分析技术外, 特别重视了对数据处理的研究。

* 中国科学院“九五”重大项目资助课题 (编号: KZ951-B1-404)

赵善仁, 男, 1962年生, 博士后, 主要从事成矿作用地球化学研究。邮政编码: 100101

表1 赤峰地区花岗岩、变质岩金丰度统计 (10^{-9})

地质体	样品数	变化范围	总体平均值	剔除矿化样品后计算的丰度值 ^①	资料来源
变质岩类	60	1.0~289	7.9~82.7		①
花岗岩类	59	1.1~110	13.0~38.3		
海西期及燕山期岩体	207	0.5~28.0	7.96		[2]
太古宙变质岩	322	0.5~28.8	7.68		
花岗岩类	92	0.4~84.2	5.77	1.23 (74)	本文
变质岩类	37	0.7~62.5	9.48	1.88 (18)	
全区花岗岩、变质岩	129	0.4~84.2	6.83	1.35 (92)	

① 剔除方法见文中所述, 括号内为剔除矿化样品后的样品数

2.1 成矿地质背景

赤峰地区位于华北地台北缘、内蒙地轴东端。区内分布有三个北东向的花岗岩—变质岩隆起带。带中变质岩属太古宇建平群, 以斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩为主。带内花岗岩岩石以海西及燕山早期花岗岩、二长花岗岩为主, 多呈岩基状。带中还可见到各种燕山晚期的闪长岩类和斑状花岗岩类的岩株或岩脉, 它们与金矿化有密切的空间关系。

区内金矿床都分布在这三个隆起带内。金矿化一是产在老变质岩中, 如金厂沟梁、红花沟金矿等; 二是产在花岗岩中, 如安家营子、撰山子金矿等。矿化类型有石英脉型、蚀变破碎带型两种。

2.2 样品采集与分析

如上所述, 本区主要的四个金矿床分别位于三个隆起带, 在空间上分布比较均匀, 对讨论本区金丰度及成矿物质来源有很好的代表性。考虑到本区金成矿与花岗岩有密切的空间关系, 这也是本课题的研究内容, 所以选择这四个金矿区地表、外围岩石 (重点是花岗岩类) 以及井下有代表性矿脉的围岩作为研究金丰度的样品, 共采了 129 件。

样品送地矿部地球物理地球化学勘查研究所中心实验室分析 Au 等 13 种微量元素。其中 Au 用无火焰原子吸收法, 检出限为 0.2×10^{-9} 。全部元素一级标准物质合格率均为 100%, Au 重复样合格率为 95%, 其他元素重复样合格率在 90%~100% 之间, 质量合乎要求。

2.3 金丰度的计算方法

从表 1 中可看出金的最高含量为 84.2×10^{-9} , 是井下采集的矿化围岩样品, 必须剔除。问题的关键是剔除的标准, 即剔除到金含量多高为止。若按均值加三倍方差 ($x+3s$) 作为剔除下限, 经第一次剔除后, 还有接近 45×10^{-9} 的矿化样品。为此采用逐步剔除法, 一直剔除到没有大于当时的 $x+3s$ 含量的样品为止。为了找出逐次剔除过程中 $x+3s$ 的变化规律, 作了金含量 $x+3s$ 逐次剔除变化曲线图 (图 1)。从图 1 的曲线上求得两个拐点: 第一个拐点为第 9 次剔除, 其相应的 $x+3s$ 接近 10.0×10^{-9} ; 第二个拐点对应第 13 次剔除, 其相应的 $x+3s$ 接近 5.0×10^{-9} 。为了更深入探讨这两个拐点的意义, 作了全区 129 件样品的直方图及累积概率曲线图 (见图 2)。从图 2 可看出, 直方图呈对数多峰分布。累积概率曲线上的拐点对应第一个峰的上限, 约为 5.0×10^{-9} 。经对照野外记录, 室内标本及薄片观察发现, 小于 5.0×10^{-9} 的样品基本上没有蚀变矿化现象。所以第一个峰应为背景总体, 其上限值与逐次剔除变化曲线上第二个拐点对应的 $x+3s$ 剔除下限 5.0×10^{-9} 一致。在累积概率曲线上, 这个拐点对应的累积概率为 71.54%, 亦即多重总体分布中, 约 72% 为背景总体, 其余 28% 的高含量样品 ($>5.0 \times 10^{-9}$) 经标本及薄片观察为蚀变矿化总体样品。

① 林根柱等, 1990, 内蒙古赤峰南部地区金成矿地质特征初步探讨, 赤峰市黄金管理局编, 赤峰市黄金地质研讨会论文集, 第 181~186 页

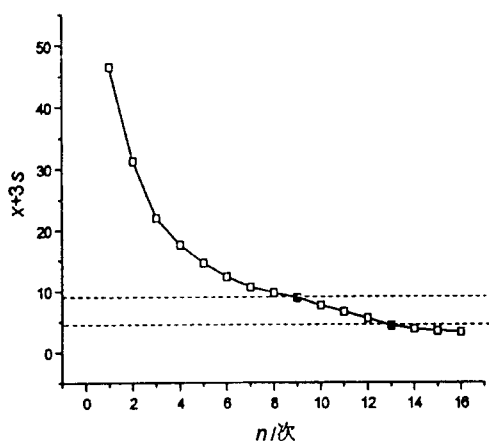


图1 赤峰地区花岗岩、变质岩金含量
 $x+3s$ 逐次剔除变化曲线

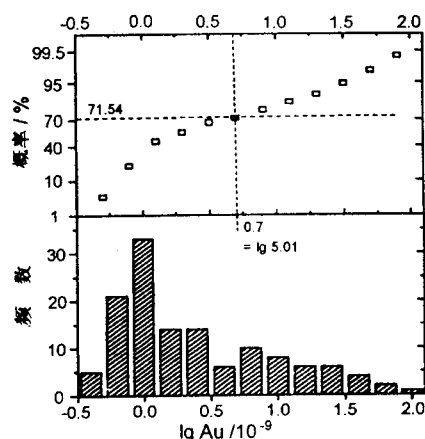


图2 赤峰地区花岗岩、变质岩金含量
直方图及累积概率曲线图

经直方图-累积概率曲线以及标本薄片观察证明，逐步剔除计算作图求拐点法在本区用于筛分金的多重正态总体，求取背景总体上限值取得了令人满意的效果。这种方法在山西五台—恒山地区用于确定五台群老变质岩系、恒山杂岩金丰度^①以及在山东用于基岩地球化学金矿勘查的异常圈定与评价也起了重要作用^[3]。

根据上面确定的背景上限，剔除含量大于 5.0×10^{-9} 的蚀变矿化样品后，计算得出的本区花岗岩类金丰度为 1.23×10^{-9} ，变质岩金丰度为 1.88×10^{-9} ，全区岩石金丰度为 1.35×10^{-9} （表1）。

3 金矿物质来源探讨

本区金矿成矿物质来源，前人已作了大量工作。大多数作者认为成矿物质来自太古宙变质岩及其重熔产物（花岗岩）。本文主要从花岗岩类、变质岩类金丰度以及成矿元素组合特征来探讨这个问题。

3.1 太古宙变质岩是金矿的原始矿源层

由上述计算得到的变质岩金丰度 1.88×10^{-9} ，与现代较合理的地壳金丰度值 $1.0 \times 10^{-9} \sim 1.2 \times 10^{-9}$ ^[1] 相比，本区变质岩富金，且与王来明等（1988）和安郁宏等（1988）给出的胶东群金丰度 1.3×10^{-9} 和 $1.7 \times 10^{-9} \sim 2.0 \times 10^{-9}$ ，张荫树等（1986）求得的太华群金丰度 $0.7 \times 10^{-9} \sim 1.96 \times 10^{-9}$ ，以及山西五台群金丰度 2.0×10^{-9} ^① 大体相当。大多数作者根据各种资料认为上述变质岩系是金的矿源层。本区最大的金厂沟梁金矿、红花沟金矿的直接围岩为太古宙老变质岩，由老变质岩构成本区的结晶基底，控制了本区金矿床的区域分布，并且决定了其后各时代重熔花岗岩的含金性，因而认为本区变质岩是金矿的原始矿源层（间接源）。

3.2 花岗岩是金矿的再生矿源岩

从本区花岗岩、变质岩及区域矿化岩石成矿元素组合特征（表2）可见，区域矿化岩石成矿元素组合为 Au、Ag、Bi、As、Cu、Pb、Cd。据此计算出本区花岗岩、变质岩各岩石类型中金及成矿元素含量（见表3）。

由表2可看出，花岗岩类岩石中出现较为齐全的成矿元素组合，该组合与区域矿化岩石成矿元素组合相似，且成矿因子的方差贡献较大；而变质岩中只出现较单一的 Au、Mo 元素组合，与区域矿化岩石成矿

① 赵善仁，1996，五台山—恒山地区成矿规律地球化学研究，中国地质大学（北京）博士学位论文

表2 赤峰地区花岗岩、变质岩及区域矿化岩石成矿元素组合特征

岩石类型	样品数	R型因子分析		R型聚类分析
		成矿因子	方差贡献/%	
花岗岩	92	F1 (Au, Ag, Bi, As)	14.96	Au, Ag, Bi, As
变质岩	37	F6 (Au, Mo)	7.92	Au, Mo
区域矿化岩石、矿石	86	F1 (Au, Ag, Bi, As, Cu, Pb, Cd)	35.11	Au, Ag, Bi, Cu

表3 赤峰地区花岗岩、变质岩各岩石类型中金及成矿元素含量特征

岩石类型	样品数	Au	Ag	Bi	As	Cu	Pb	Cd
花岗岩(二长花岗岩)	44	0.94	43.50	0.14	0.70	7.72	22.20	68.39
钾长花岗岩	2	1.80	108.50	0.16	0.50	6.00	21.40	295.00
花岗斑岩	11	1.20	48.00	0.10	1.51	4.75	24.94	60.27
混合花岗岩	1	1.20	114.00	0.08	5.50	76.00	4.20	131.00
石英斑岩	4	0.92	285.00	0.11	0.68	7.23	25.68	94.75
花岗闪长岩	5	2.52	76.20	0.07	0.58	174.02	18.66	76.20
闪长岩	6	2.17	75.00	0.15	1.20	36.25	29.52	174.17
闪长玢岩	1	1.90	20.00	0.28	0.70	5.70	5.60	90.00
花岗岩类岩石	74	1.23	64.38	0.13	0.91	21.65	22.66	84.97
角闪岩	3	2.13	55.67	0.06	3.53	56.87	14.57	127.00
条带状混合岩	1	0.90	61.00	0.12	0.50	11.80	22.80	26.00
斜长角闪岩	2	2.35	53.00	0.08	1.10	23.20	10.00	90.50
斜长角闪片麻岩	9	1.72	117.78	0.11	1.03	43.16	16.90	100.11
麻粒岩	3	2.10	34.00	0.05	1.40	56.97	14.43	134.67
变质岩(累计)	18	1.88	83.11	0.09	1.49	43.78	15.66	105.17
区域岩石	92	1.35	68.04	0.12	1.03	25.98	21.29	88.92

注:元素含量单位除 Au、Ag、Cd 为 10^{-9} 外,其余元素均为 10^{-6}

元素组合不一致,成矿因子方差贡献小,说明成矿物质直接来源于花岗岩类岩石。又由表3可看出,本区普通花岗岩(包括二长花岗岩)金丰度与骆庭川等(1990)发表的秦巴花岗岩金丰度 0.60×10^{-9} 相比,是其1.5倍。而钾长花岗岩、花岗斑岩、混合花岗岩则富集2~3倍。且部分矿区(如红花沟)与钾长花岗岩、混合花岗岩关系密切。综合表2、表3,可以认为花岗岩是本区金矿的再生矿源岩(也是直接源)。

3.3 闪长质岩石是金矿物质来源的主要提供者

由表3可见,花岗岩类岩石中,闪长质岩石有较高的Au含量。其中本区花岗闪长岩的Au含量 2.52×10^{-9} 是DI Gottfried等(1973)公布的花岗闪长岩Au丰度 1.20×10^{-9} ^[1] 以及本区花岗岩类Au丰度 1.23×10^{-9} 的两倍多。闪长岩及闪长玢岩的Au含量也远高于本区花岗岩类Au丰度。据野外地质观察,本区闪长质岩石和金矿化具有密切的空间关系,区内规模较大的金矿床其矿区内均可见到闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩,它们多呈岩株状,有的矿脉就产在闪长岩株内部或闪长玢岩之中。如前所述,花岗岩具有重熔的特点,而闪长岩株是重熔岩浆晚期侵入产物^①,综合上述闪长质岩石Au含量高的特征,认为闪长质岩石应是金矿物质来源的主要提供者。

参 考 文 献

- 汪东波. 金丰度、含金建造与含金性评价. 见:第五届全国勘查地球化学学术讨论会论文集. 武汉:中国地质大学出版社, 1995, 27~33.
- 王时麒, 孙承志, 崔文元等. 内蒙古赤峰地区金矿地质. 呼和浩特:内蒙古人民出版社, 1994, 352~359.
- 吴悦斌, 沈铺立, 赵善仁. 基岩地球化学金矿勘查的异常圈定与评价. 现代地质, 1996, 10(2): 222~230.

① 刘纲, 1990, 赤峰—朝阳地区金矿成矿规律的探讨, 赤峰市黄金管理局编, 赤峰市黄金地质研讨会论文集, 第122~126页