

金的地球化学异常与金矿床规模之间关系的统计学特征——以河北省为例

师淑娟^{1,2} 王学求^{1,3} 官进忠²

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省地球物理勘查院, 河北 廊坊 065000; 3. 中国地质科学院应用地球化学重点开放实验室, 河北 廊坊 065000)

摘要:以水系沉积物地球化学调查成果为基础,从统计学角度探讨了河北省金地球化学异常与金矿规模的对应关系。以 2.6 ng/g 为异常下限,在全省范围内圈定金区域异常 28 处,局部异常 35 处。研究发现区域异常与金矿的关系非常密切,100%的大型金矿、81.8%的中型金矿及 70.9%的小型金矿都位于区域异常内。局部异常仅与小型金矿的关系密切,小型金矿在局部异常中的产出概率是 20%。通过 23 个金异常面积与金矿储量的相关分析表明,二者相关性非常好,相关系数达 0.919,金异常面金属量与金矿储量的相关性也很显著,相关系数达 0.924。回归分析表明,金异常面积及异常面金属量与金矿床储量之间符合一元线性相关特征,并分别建立了回归方程。该成果对矿产预测及资源潜力评价具有一定的指导意义。

关键词:地球化学异常;金矿规模;相关与回归分析;河北省

中图分类号:P612;P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)06-1562-06

多年来,地球化学家与矿床学家一直在研究地球化学异常与矿床之间的关系,并希望能够通过地球化学异常规模来定量预测矿床规模^[1-12]。但由于矿床的形成是多种地质因素的耦合,因此目前还没有给出一个非常可行的量化标准。本文以河北省为例,试图建立地球化学异常规模与矿床规模之间的定量关系,为利用区域地球化学资料进行矿床规模的预测提供理论基础,也为全国矿产资源潜力评价工作提供参考依据。河北省的 1:20 万区域化探扫面工作取得了大量可靠的地球化学数据资料。本文以该成果数据为基础,圈定金的地球化学异常,同时系统收集省内金矿储量资料,通过统计学的相关和回归等分析方法对省内金地球化学异常与金矿床规模的关系进行定量的探讨。

研究区为河北省的基岩出露区,大地构造单元位于华北地台北缘中段,是中国东部金矿成矿带的

重要组成部分,资源储量丰富,远景较大,截止 2006 年底已累计探明金资源储量近 400 t,主要分布于冀东的承德和唐山地区,冀西北的张家口地区,太行山有少量分布^[13]。

1 金地球化学异常的圈定和分布

用全省水系沉积物 4 km² 组合样数据绘制金地球化学异常图,金背景值的确定采用 $X \pm 3s$ 以外的数据进行离群值的剔除,确定背景值为 1.3 ng/g。异常下限的选取为累频方法,即取 93.5% 累计频率对应的含量值,异常下限为 2.6 ng/g。绘图软件为中国地质调查局发展研究中心开发的 GeoExpl2010。

河北省金的异常区主要分布于张家口、丰宁—隆化和冀东地区,涞源地区也有零星分布(图 1)。

所圈定的异常面积从不足 1 km² 到超过 1 000 km²。为了统计需要,将异常面积 > 50 km² 的金异常

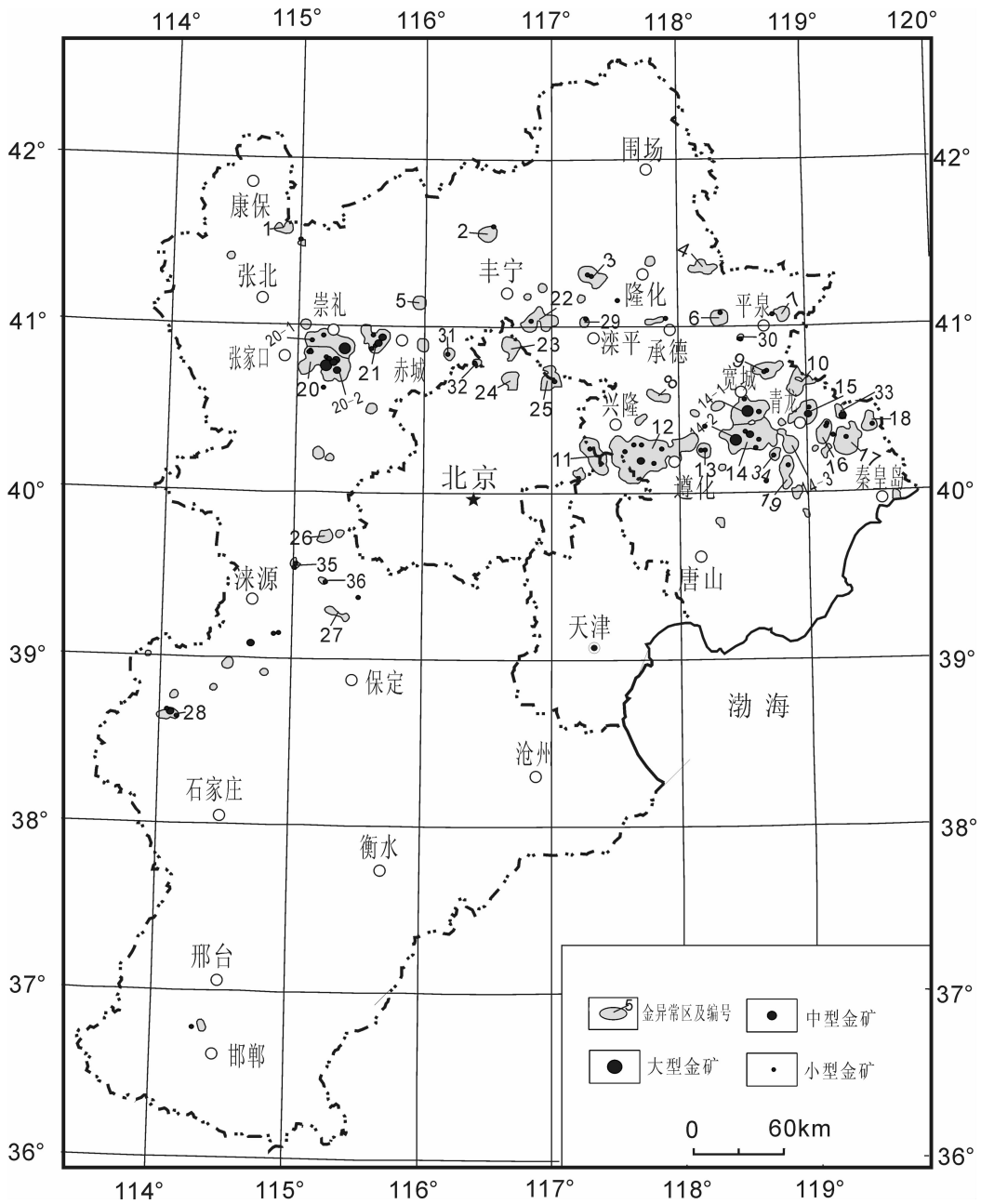


图 1 河北省水系沉积物金地球化学异常图(网格距 2 km×2 km)
 Fig.1 Distribution of gold anomalies in stream sediments of Hebei

划定为区域异常,面积 10~50 km² 的为局部异常,同时为了保证每个异常至少要有 3 个控制样点,所以舍去了 <10 km² 的异常。本次研究共圈定出区域异常 28 处,局部异常 35 处。

2 金地球化学异常与金矿规模的关系

2.1 金区域异常与金矿规模的关系

从表 1 和表 2 中可以看出,河北省的金矿产出

于金区域异常中的比例在 68% 以上,并且大、中、小型金矿在区域异常中的产出比例不断下降。4 个大型金矿全部产出于区域异常中,11 个中型金矿中有 9 个产出于区域异常中,59 个小型金矿中有 40 个产出于区域异常中。

从产出金矿的区域异常统计数目来看,产出大型金矿的区域异常只有 2 个,占全省区域异常数的 7.1%,而产出中型金矿到小型金矿的区域异常数却

表 1 河北省金区域异常地球化学参数统计
Table 1 Parameters of gold regional anomalies in Hebei

异常 编号	异常均值 /(ng/g)	异常面积 /km ²	标准差	变异 系数	富集 系数	最高值 /(ng/g)	产出金矿床
1	4.95	65.11	0.26	0.05	3.81	23.75	
2	22.68	97.62	0.27	0.01	17.45	406	1 小型
3	14.51	162.53	3.29	0.23	11.16	116	2 小型
4	4.3	95.15	0.38	0.09	3.31	25.38	
5	22.48	59.72	0.27	0.01	17.29	301.5	
6	25.23	90.85	0.38	0.02	19.41	257.5	1 小型
7	7.09	66.29	0.27	0.04	5.45	26.85	
8	5.31	63.18	0.27	0.05	4.08	25.2	
9	12.27	135.11	3.47	0.28	9.44	87.03	2 小型
10	16.37	202.61	3.84	0.23	12.59	417	
11	30.27	255.92	3.89	0.13	23.28	780	1 小型
12	16.49	1061.04	8.93	0.54	12.68	250.3	5 小型, 1 中型
13	12.57	67.99	2.48	0.20	9.67	195	2 小型
14	19.7	992.78	8.87	0.45	15.15	1550	5 小型, 1 中型, 2 大型
15	15.96	212.21	4.00	0.25	12.28	148.3	1 小型, 1 中型
16	6.92	101.26	3.29	0.48	5.32	26.2	3 小型
17	7.46	259.95	4.33	0.58	5.74	51	1 小型
18	5.24	82.13	4.43	0.85	4.03	16.4	1 小型
19	10.72	136.46	3.26	0.30	8.25	107	1 小型
20	57.66	866.46	8.39	0.15	44.35	6862.5	7 小型, 3 中型, 2 大型
21	19.82	226.10	4.17	0.21	15.25	315	3 小型, 2 中型
22	8.05	206.79	3.71	0.46	6.19	50.7	1 小型
23	19.57	112.05	3.48	0.18	15.05	315.9	
24	5.59	88.57	2.92	0.52	4.30	21.06	
25	16.82	137.37	3.04	0.18	12.94	63.31	1 小型
26	7.57	61.72	2.67	0.35	5.82	38.8	
27	3.75	54.92	2.21	0.59	2.88	5.5	
28	4.44	61.93	1.93	0.44	3.42	17.2	2 小型, 1 中型

注: 变异系数=标准差/平均值, 富集系数=平均值/背景值。

表 2 河北省金区域异常与金矿关系统计
Table 2 Statistics of regional gold anomalies and gold ore deposits in Hebei

金矿规模	区域异常内 金矿数量/个	全省金矿数量/个	区域异常内 产出比例/%	产出金矿的 区域异常数/个	产出金矿的区域异常占 全省的比例/%
大型	4	4	100	2	7.1
中型	9	11	81.8	5	17.9
小型	40	59	67.8	18	64.3

急剧升高,分别达到 17.9%和 64.3%。也就是说区域异常中产出的大型金矿的概率很低,而产出中、小型金矿的概率不断上升。

通过上述研究发现,金的区域异常与金矿床的规模存在非常密切的关系。大型金矿与区域异常的关系最密切,中型金矿与区域异常的密切程度次之,小型金矿可能不产出于区域异常中,因此二者间的关系最不紧密。

2.2 金局部异常与金矿规模的关系

35 处局部异常中有 7 处存在小型金矿,其余没有金矿产出,产出的比例为 20%。可以看出,局部异常中没有大中型金矿产出,只有小型金矿产出,说明局部异常与小型金矿的空间对应关系密切。

为了方便下面的统计计算,对产出金矿的 7 个局部异常进行了编号(即 29-36 号金异常),其他的

局部异常没有进行编号。

3 金地球化学异常规模与金矿储量的关系

选择异常面积大于 10 km² 的金异常,统计了金异常参数与异常内产出金矿的储量(表 3),由于有些异常内没有产出金矿,或者有些金矿没有储量资料,所以实际参与统计的异常数是 23 个。其中 14 号异常中产出大型金矿集区,包括 2 个大型金矿、1 个中型金矿和 5 个小型金矿,20 号异常中也产出大型金矿集区,包括 2 个大型金矿、3 个中型金矿和 7 个小型金矿。为了更好地反映异常规模与矿床规模之间的关系,将这两个异常进行了分解,分解的依据充分考虑成矿地质条件、矿床产出类型及异常浓集特征。14 号异常分解为 14-1,14-2 和 14-3 3 个异常,20

表 3 河北省金异常参数及异常内产出的金矿储量

Table 3 Parameters of gold geochemical anomalies and gold ore reserves in Hebei

异常编号	异常均值/(ng/g)	异常面积/km ²	异常面金属量	金矿储量/t
3	14.51	162.53	2358.31	1.743
6	25.23	90.85	2292.15	2.457
9	12.27	135.11	1657.80	4.444
13	12.57	67.99	854.63	3.564
14-1	10.25	311.35	3191.34	47.472
14-2	17.30	568.53	9835.58	82.566
15	15.96	212.21	3386.87	6.241
16	6.92	101.26	700.72	3.26
18	5.24	82.13	430.35	0.751
19	10.72	136.46	1462.85	1.261
20-1	23.41	339.35	7944.13	70.2
20-2	25.41	526.84	13386.93	78.855
21	19.82	226.10	4481.30	25.42
22	8.05	206.79	1664.66	3.438
28	4.44	61.93	274.97	10.147
29	7.21	26.54	191.35	1.668
30	6.93	10.13	70.20	1.45
31	9.80	37.10	363.58	0.674
32	6.83	16.85	115.09	0.559
33	4.74	36.08	171.02	2.254
34	4.95	43.71	216.36	2.441
35	6.00	23.36	140.16	3.832
36	4.42	13.48	59.58	3.535

注:异常面金属量=异常面积×异常均值;金矿储量据 2008 年河北省金矿储量平衡表。

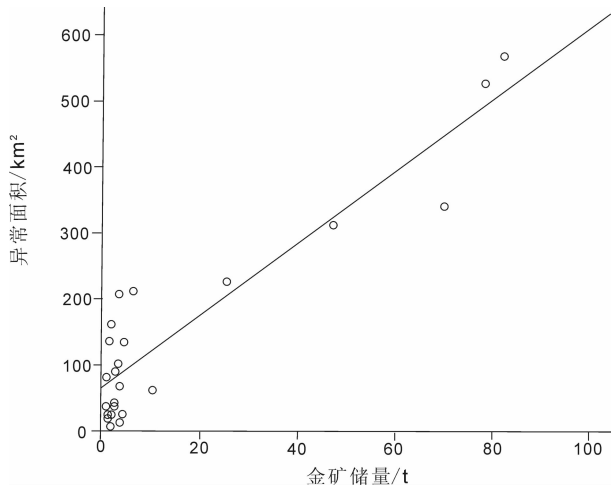


图2 河北省金异常面积与金矿储量线性回归拟合图
($R^2:0.845, Sig:0.000$)

Fig.2 Linear regression curves for gold anomaly areas and gold ore reserves in Hebei

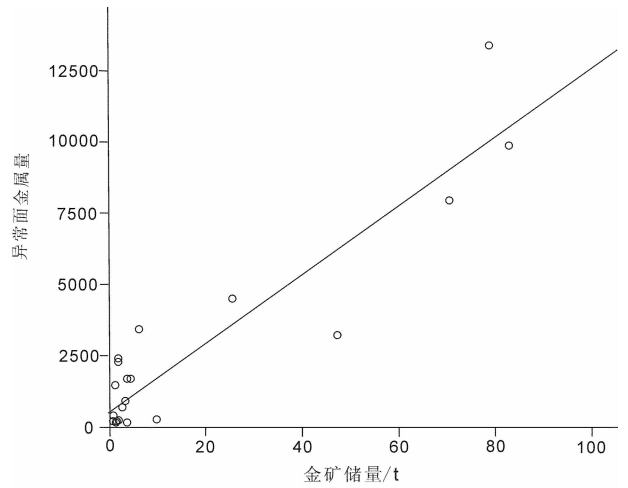


图3 河北省金异常面金属量与金矿储量线性回归拟合图
($R^2:0.854, Sig:0.000$)

Fig.3 Linear regression curves for gold anomalous areal productivity and gold ore reserves in Hebei

号异常分解为 20-1 和 20-2 2 个异常。

将这 23 个异常的异常面积与金矿储量在 SPSS17.0 中进行相关和回归分析。相关分析发现,在置信度 0.01 的水平上二者显著相关,相关系数 0.919。通过回归分析发现,异常面积与储量之间存在很好的线性关系,由此建立了一元线性回归方程 $Y=5.427X+64.901$,线性回归拟合图见图 2。

对金异常面金属量(异常面积与异常均值的乘积)与金矿的储量间的关系进行了相关和回归分析,分析结果表明,在置信度 0.01 的水平上二者显著相关,相关系数 0.924。二者也具有较好的线性关系,由此建立一元线性回归方程为 $Y=121.459X+510.406$,线性回归拟合图见图 3。

通过相关系数和回归 R^2 比较发现,金异常面积和异常面金属量这两个变量与金矿储量之间存在非常一致的相关关系和线性拟合特征。

4 结论与讨论

通过前面的讨论可以得到以下几点认识:

(1)金的区域异常与金矿床的规模存在非常密切的关系,68%以上的金矿产出于金区域异常中。100%大型金矿、81.8%的中型金矿及 67.8%的小型金矿都位于区域异常内。表明大型金矿与区域异常的关系最密切,中型金矿次之,小型金矿最不紧密。所以要寻找大型金矿就要从区域异常中开展勘查工作。

(2)独立分布的局部异常中没有大中型金矿产出,只有小型金矿产出,产出小型金矿的概率为 20%。

(3)通过相关分析发现,异常面积及异常面金属量与金矿储量间存在非常密切的相关关系,相关系数分别为 0.919 和 0.924。

(4)回归分析发现,异常面积及异常面金属量与金矿储量间存在很好的线性关系,并分别建立了一元线性回归方程。通过该方程可以推算未知异常区金矿的储量,对金矿的定量预测及资源潜力评价具有一定的参考价值。

(5)本论文对金矿的定量预测只是从地球化学异常规模的角度进行了探讨,因为地球化学异常是找矿的直接信息,并且通过统计学的研究认为是可行的。此外,影响矿床形成规模的其他地质因素是极其复杂的,本文没有给予讨论。

参考文献(References):

[1] Hawkes H E. The downstream dilution of stream sediment anomalies [J]. Journal of Geochemical Exploration., 1976, 6:345-358.
 [2] Bølviken B, Kullerød G, Loucks R R. Geochemical and metallogenic provinces: a discussion initiated by results from geochemical mapping across northern Fennoscandia [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1990, 39:49-90.
 [3] 王学求. 寻找和识别大型特大型矿床的勘查地球化学理论与应用[J]. 物探与化探, 1998, 22(2):81-89.

- Wang Xueqiu. Geochemical methodology and application in exploration for large/giant ore deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 22 (2):81-89 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王学求. 巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学 [J]. 矿床地质, 2000, 19(1):76-87.
- Wang Xueqiu. Exploration geochemistry for giant ore deposits or world-class camps in concealed terrains [J]. Mineral Deposits, 2000, 19(1):76-87(in Chinese with English abstract).
- [5] 王学求. 地球化学模式及成因初探 [J]. 矿床地质, 2001, 20(3):216-222.
- Wang Xueqiu. Geochemical patterns and their geneses [J]. Mineral Deposits, 2001, 20(3):216-222(in Chinese with English abstract).
- [6] Reimann C, Melezhik V. Metallogenic provinces, geochemical provinces and regional geology—what causes large-scale patterns in low density geochemical maps of C-horizon of podzols in Arctic Europe [J]. Applied Geochemistry, 2001, 16:963-983.
- [7] 谢学锦, 刘大文, 向运川, 等. 地球化学块体——概念和方法学的发展[J]. 中国地质, 2002, 29(3):225-233.
- Xie Xuejing, Liu Dawen, Xiang Yunchuan, et al. Geochemical blocks—Development of concept and methodology [J]. Geology in China, 2002, 29(3):225-233(in Chinese with English abstract).
- [8] 王学求. 大型矿床地球化学定量评价模型和方法 [J]. 地学前缘, 2003, 10(1):257-261.
- Wang Xueqiu. Geochemical quantitative assesment model and approach for large ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1):257-261(in Chinese with English abstract).
- [9] 李通国, 李文胜, 刘建宏, 等. 矿床地球化学预测方法——以甘肃省地球化学块体为例[J]. 中国地质, 2003, 30(2):192-198.
- Li Tongguo, Li Wensheng, Liu Jianhong, et al. Geochemical prognosis method of mineral deposits: A case study of the geochemical block in Gansu [J]. Geology in China, 2003, 30(2):192-198(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘大文, 谢学锦. 基于地球化学块体概念的中国锡资源潜力评价[J]. 中国地质, 2005, 32(1):25-32.
- Liu Dawen, Xie Xuejing. Evaluation of China's tin resources potential based on the geochemical block concept [J]. Geology in China, 2005, 32(1):25-32(in Chinese with English abstract).
- [11] 王学求, 孙宏伟, 迟清华, 等. 地球化学异常再现性与可对比性[J]. 中国地质, 2005, 32(1):135-140.
- Wang Xueqiu, Sun Hongwei, Chi Qinghua, et al. Reproducibility and comparison of geochemical anomalies [J]. Geology in China, 2005, 32(1):135-140(in Chinese with English abstract).
- [12] 王学求, 申伍军, 张必敏, 等. 地球化学块体与大型矿集区的关系——以东天山为例[J]. 地学前缘, 2007, 14(5):116-123.
- Wang Xueqiu, Shen Wujun, Zhang Bimin, et al. Relationship of geochemical blocks and ore districts: example from Eastern Tianshan metallogenic belt, Xinjiang, China [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5):116-123(in Chinese with English abstract).
- [13] 河北省地质矿产勘查开发局. 河北省地质·矿产·环境 [M]. 北京:地质出版社, 2006:464-467.
- Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration. Geology·Mineral·Environment in Hebei[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2006:464-467(in Chinese).

Statistic relationship between geochemical anomalous areas and gold reserves: a case study of Hebei Province

SHI Shu-juan^{1,2}, WANG Xue-qiu^{1,3}, GONG Jin-zhong²

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Hebei Institute of Geophysical Exploration, Langfang 065000, Hebei, China; 3. Key Laboratory for Applied Geochemistry, CAGS, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Gold geochemical anomalies and their relationship with gold reserves are discussed in this paper based on statistic analysis of the data obtained from regional stream sediment geochemical survey in Hebei Province. Twenty-eight gold regional anomalies over an area of 50 km² and 35 local anomalies with the area from 10 km² to 50 km² were delineated by threshold of Au value of 2.6ng/g. The relationship between regional anomalies and gold ore deposits is proved to be intimate. 100% large-size, 81.8% medium-size and 67.8% small-size gold ore deposits occur within regional anomalies. Correlation analysis shows that the correlation coefficient of gold anomalous areal size and gold ore reserves is 0.919, and the correlation coefficient of gold anomalous areal productivity and gold ore reserves is 0.924. Regression analysis shows that the correlation between areal size or areal productivity of gold anomalies and gold ore reserves is in linear form. The result is useful for prediction and evaluation of mineral resource potential.

Key words: geochemical anomaly; gold ore deposit; correlation and regression analysis; Hebei Province

About the first author: SHI Shu-juan, female, born in 1977, engineer, engages in geochemical exploration; E-mail: shishujuan1113@sina.com.