

矿产资源地球化学定量预测 在蓟县夕卡岩型铜矿中的应用

王卫星,曹淑萍,程绪江,陈一笠,王丽瑛,朵兴芳

(天津市地质调查研究院,天津 300191)

摘要: 蓟县北部山区具有良好的夕卡岩型铜矿成矿条件,与河北省兴隆县寿王坟夕卡岩型铜矿具有相似的成矿模式。选取寿王坟铜矿作为蓟县夕卡岩型铜矿研究的典型矿床,参照矿产资源地球化学定量预测方法技术,计算出盘山预测区的剥蚀系数约为 0.7,石臼预测区的剥蚀系数约为 0.5,属于中—深度剥蚀;盘山预测区和石臼预测区的相似系数均为 0.74,采用考虑剥蚀系数的面金属量法计算了蓟县夕卡岩型铜矿的预测资源量。

关键词: 寿王坟铜矿;夕卡岩型;地球化学定量预测;蓟县;天津市

中图分类号: P612;P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0463-06

0 引言

天津市北部的蓟县地处燕山南麓与华北平原的交接地带,北部为中低山丘陵和山间盆地,南部为平原和洼地,是国家地质公园和中国北方中新元古界标准剖面所在地,区内矿产资源有锰、钨、钼、金、铁、铜等。

自 2007 年全国矿产资源潜力评价工作开展以来,以马振东教授为首的科研团队经过反复试点研究,完成了矿产资源地球化学模型建立与定量预测方法技术研究,其良好的找矿效果已经在各省矿产资源潜力评价工作中得到广泛应用。本文应用该技术方法,对天津蓟县夕卡岩型铜矿进行地球化学资源量定量预测研究,取得了良好的应用效果。

1 区域地质背景

蓟县南部大部分地区被第四系覆盖,蓟县北部山区出露地层以中新元古界长城系、蓟县系和青白口系为主,太古界遵化岩群及下古生界仅零星分布。大地构造位置处于华北陆块燕辽裂陷带的燕山裂谷内。

岩浆活动在本区西部比较强烈,而东部地区的岩浆活动相对较弱。出露的主要侵入岩体有 4 个,即盘山花岗岩、石臼花岗岩、朱耳峪正长岩和别山正长斑岩;其中,盘山花岗岩体的规模最大。已知的隐伏岩体有 2 个,分别为大保安镇花岗岩和马伸桥霞石正长岩。这些侵入岩体的侵入时代均为印支期^[1-2]。成矿区带属于华北陆块北缘东段成矿带燕辽成矿亚带中的平谷—蓟县钨钼铜金锰磷成矿区。区内的铁矿有常州村和黄花山沉积变质型铁矿点,金矿有黄花山小型金矿床、东山和龙福寺金矿点,钨矿有盘山岩体内的沿河小型钨矿床,钼矿主要有产于盘山岩体北东外接触带的沟河北小型钼矿床,铜矿主要有盘山岩体西外接触带田家峪、许家台一带的夕卡岩型铜矿化点,磷矿有马伸桥、朱耳峪岩浆型磷矿点。

2 研究区地质特征

蓟县夕卡岩型铜矿研究区位于蓟县北部山区,北起盘山—罗庄子镇—九龙山一线,南迄大秦铁路;东自毛家峪,北西至北京市—河北省界(图 1)。区内与夕卡岩铜矿有关的地层有长城系高于庄组、蓟

收稿日期: 2011-09-27; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 天津市矿产资源潜力评价项目(编号:1212010881604)资助。

作者简介: 王卫星(1982-),男,工程师,硕士,2010 年在中国地质大学(北京)获得硕士学位,主要从事矿床地球化学研究工作。通信地址:天津市南开区迎水道 20 号,天津市地质调查研究院 614 室;邮政编码:300191;E-mail:66318420@qq.com

县系杨庄组和雾迷山组,主要与地层中的碳酸盐岩关系密切。与夕卡岩型铜矿有关的侵入岩主要有盘山复式花岗岩体和石臼岩体。盘山岩体可分为4个侵入阶段,分别为狼家峪中粗粒黑云母二长花岗岩、官庄似斑状石英二长岩、东罗庄中粗粒二长花岗岩和小盘山细粒二长花岗岩;石臼岩体大致分为2个阶段,即二长花岗岩和石英二长闪长斑岩^[3]。盘山岩体成岩时代前人已经做过大量测试分析^[4-8],岩体的侵入时代主要集中在203~235 Ma之间(印支期)。一般来说,夕卡岩型铜矿含矿岩体中多富集Fe、Cu、Pb、Zn、Mo、W等元素,且与碱值($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)密切相关,当岩石的碱值为8.8%~7.6%时,多产出铁—铜矿^[9]。从表1可以看出,盘山岩体中Cu、Pb、Zn、Mo等成矿元素均比较富集,碱值>8.05%,有利于铜矿的成矿。同时,区内还有少量呈

NW向、NNW向脉状分布的辉绿岩、正长斑岩和煌斑岩。夕卡岩型铜矿化主要产于盘山岩体和石臼岩体的内外接触带中。

3 夕卡岩型铜矿地球化学定量预测

蓟县夕卡岩型铜矿主要分布在盘山岩体(盘山预测区)和石臼岩体(石臼预测区)周边,在成矿类型和成矿区地质—地球化学特征方面,与相邻的河北省兴隆县寿王坟夕卡岩型铜矿大体相似,因此,选取寿王坟铜矿床作为蓟县夕卡岩型铜矿地球化学定量预测的典型矿床。

3.1 剥蚀程度

矿化体的剥蚀程度是成矿作用发生时的深度到目前保存的完整程度,分为深剥蚀、中等剥蚀、浅剥

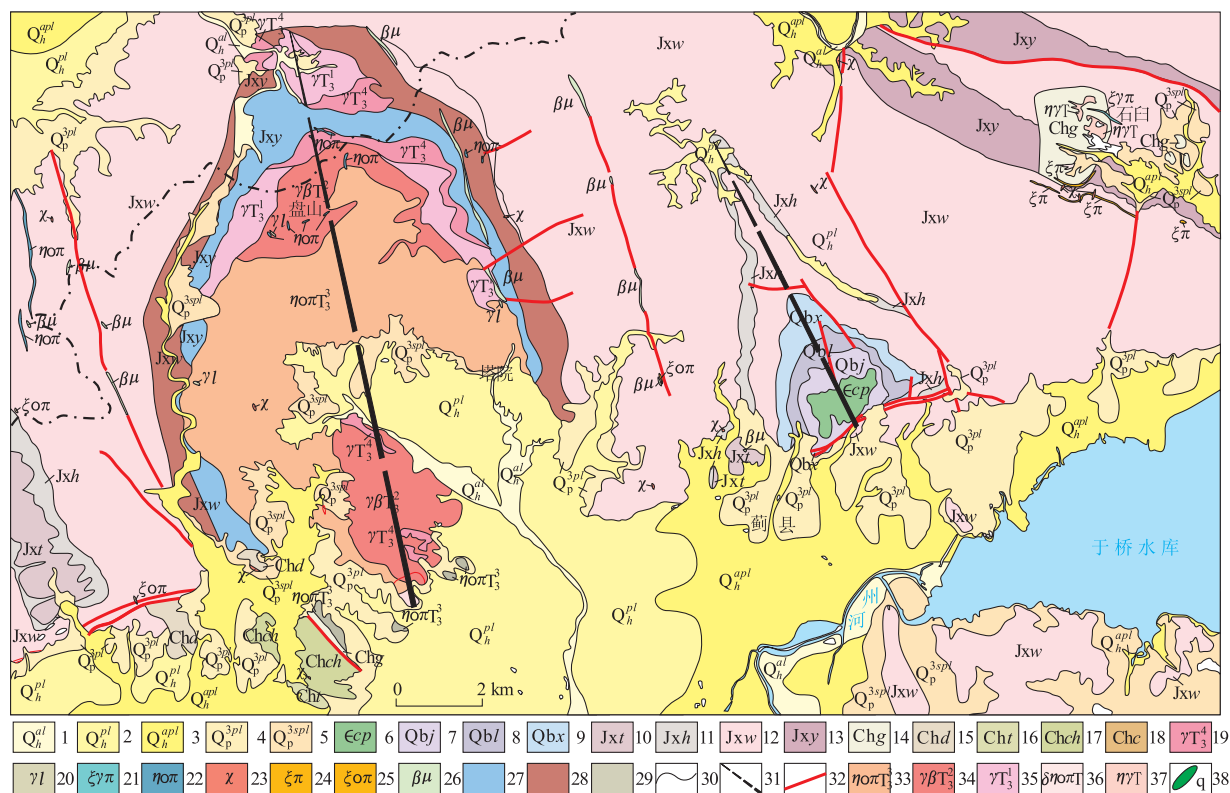


图1 蓟县夕卡岩型铜矿研究区地质简图

Fig.1 Geological sketch of the skarn copper deposit study area in Jixian county

1. 全新世冲积相;2. 全新世洪积相;3. 全新世冲洪积相;4. 晚更新世洪积相;5. 晚更新世坡洪积相;6. 寒武系昌平组;7. 青白口系景儿峪组;8. 青白口系龙山组;9. 青白口系下马岭组;10. 蓟县系铁岭组;11. 蓟县系洪水庄组;12. 蓟县系雾迷山组;13. 蓟县系杨庄组;14. 长城系高于庄组;15. 长城系大红峪组;16. 长城系团山子组;17. 长城系串岭沟组;18. 长城系常州沟组;19. 细粒花岗岩;20. 花岗岩脉;21. 碱长花岗斑岩脉;22. 石英二长斑岩脉;23. 煌斑岩脉;24. 正长斑岩脉;25. 正长石英斑岩脉;26. 辉绿岩脉;27. 透闪石化大理岩;28. 白云岩化大理岩;29. 角岩;30. 地质界线(整合或平行不整合);31. 褶皱;32. 断裂;33. 含斑石英二长岩;34. 中粒黑云花岗岩;35. 粗粒花岗岩;36. 石英二长闪长斑岩;37. 二长花岗岩;38. 石英岩

表 1 蓟县盘山岩体岩石化学特征

Table 1 Petrochemical characteristics of Panshan granites in Jixian

岩体	狼家峪			官庄			东罗庄			小盘山		
样号	D1004	D1014	D1081	D1031	D1066	D1080	D1020-2	D1030-1	D1056	D1018	D1020	D1030
Cu	29.7	19.7	2.8	7	3.7	6.7	5.1	2.7	1.3	32.1	7.8	7.6
Pb	25.5	26	17.8	22.5	17	18.1	36.2	24.6	29	28.6	41.7	43.7
Zn	25	31	24	43	40	44	22	13	21	10	10	17
Mo	11.63	0.69	0.18	0.29	2.2	0.39	0.32	0.67	0.54	0.77	0.71	0.57
K ₂ O+Na ₂ O	8.51	8.74	9.5	8.85	8.15	9.22	8.12	8.05	9.08	8.67	8.51	8.31

注:量的单位: $w(\text{Cu,Pb,Zn,Mo})/10^{-6}$, $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\%$;资料来源:杨福全等,2003。

蚀和隐伏 4 种情况,矿床剥蚀程度是地球化学定量预测研究中十分重要的参数。按照原生晕分带理论,由于元素的活动性和沉淀温度的差异,往往会在矿体周围形成低温远矿元素组合(矿头晕)、中温近矿元素组合(矿中晕)、高温矿尾元素组合(矿尾晕)。在不考虑多期叠加的情况下,哪种晕对应元素组合出现的强度越高、规模越大,就说明矿床剥蚀到了哪个程度。应用水系沉积物的元素组合特征可以判别矿床的剥蚀程度。

通过分析研究区 1 : 50 000 水系沉积物单元元素地球化学图、地球化学异常图、地球化学组合异常图、地球化学综合异常图,结合传统意义上夕卡岩型铜矿床岩石原生晕元素组合模式,并且查阅典型矿床(寿王坟铜矿)的相关资料,确定 As,Sb 和 Hg 为矿头晕,Cu,Pb 和 Zn 为矿中晕,W,Sn 和 Mo 为矿尾晕。

在蓟县夕卡岩型铜矿预测区的单元素地球化学异常图上,统计 As,Sb,Hg,Cu,Pb,Zn,W,Sn 和 Mo 的元素异常下限值以上的异常面积和异常的平均值,计算各元素的面金属量(面金属量为异常面积和异常平均值减去背景值之积)。然后,计算原生晕各端元值,分别对应为 3 组元素面金属量与其背景值比值(即匀化变换)的和(表 2)。

利用表 2 中的数据,使用 Grapher 软件制作三角图(图 2)。从图 2 中可以看出,盘山预测区的剥蚀系数约为 0.7,石臼预测区剥蚀系数约为 0.5。剥蚀系数越大说明剥蚀程度越深,因此,石臼预测区较盘山预测区的剥蚀程度浅,但是这 2 个预测区的剥蚀程度均比较深,属于中—深度剥蚀。

3.2 相似度

为了判别未知区的矿化信息,引入相似度参数概念。相似度即从成矿元素(主成矿元素、伴生成矿元素)组合的角度,利用距离公式定量判断未知区成矿元素组合与已知区之间的相似程度或相近程度的

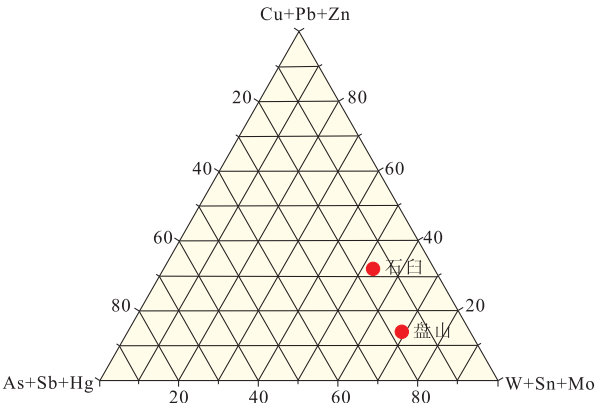


图 2 蓟县夕卡岩型铜矿预测区矿床剥蚀程度图解

Fig. 2 Diagram showing erosion degree in the predicted skarn coper ore area

参数,通过一定的变换后称之为地球化学相似系数或相近系数。地球化学资源量计算方法也是基于相似类比的原理,圈定的地球化学预测区的资源量潜力评价,归根结底需要寻找一个相似类比的参考物——典型矿床,而通过样品之间含量相似程度的判断是最直接和有效的手段,即可以通过样品之间的相似性了解典型矿床与预测区的相似性,进而为资源量潜力计算提供类比依据。

典型矿床的选取是地球化学资源量潜力评价的关键因素之一。本次研究选取寿王坟铜矿为典型矿床。研究中根据典型矿床的主要成矿元素组合,结合蓟县夕卡岩型铜矿预测区的地球化学异常组合特征,选取 Cu,Ag,Zn,Mo,Pb 元素组合制作相似度图。同时选择各元素在本区 1 : 50 000 水系沉积物异常图中异常最高值为特征值,寿王坟铜矿的相似度元素组合及其含量最高值为: $\text{Cu}(454/25.78) + \text{Ag}(1\,000/100.17) + \text{Zn}(75/66.56) + \text{Mo}(8.6/0.72) + \text{Pb}(22.1/20.97)$ 。

利用本区 1 : 50 000 水系沉积物的数据计算

表 2 蓟县夕卡岩型铜矿研究区各预测矿点各元素组合统计参数

Table 2 Three-element set statistical parameters of each predicted skarn copper ore areas in Jixian

预测区	(As+Sb+Hg)/%	(Cu+Pb+Zn)/%	(W+Sn+Mo)/%
盘山	17.2	13.74	69.06
石臼	15.35	31.78	52.87

蓟县夕卡岩型铜矿预测区内每个样点与典型矿床(寿王坟铜矿)之间的欧式距离,计算公式如下:

$$d_{ij} = \left[\sum_{a=1}^p (x_{ia} - x_{ja})^2 / p \right]^{\frac{1}{2}} (1 \leq i \leq p)$$

式中, j 为典型矿床(寿王坟铜矿); i 为需要判别的样点; p 为选取典型矿床的变量个数(本次为 5 个); d_{ij} 为未知样点与典型矿床的距离,每个元素含量在参与计算之前都需要进行归化变换(除以背景值)。

由上述公式可知, d_{ij} 值越大,表示距离越大,说明与已知矿床之间矿化信息越不相似,因此需要做下述变化:

$$F_{ij} = d_{ij\max} - d_{ij}$$

通过上述计算,得到的 F_{ij} 值即为相似度。相似度的值越大,说明与典型矿床越相似;反之,越不相似。

通过上述计算,每个样点都可以得到 1 个相似度值,按照单元素地球化学图的方法进行编图,结果见图 3(图中长方框内为夕卡岩型铜矿研究区)。从图中可以看出:盘山、石臼 2 个夕卡岩型铜矿预测区与典型矿床寿王坟夕卡岩型铜矿具有较高的相似性,尤其是盘山预测区相似度较高的面积较大,最高

相似度为 0.74,石臼预测区相似面积小,最高相似度也为 0.74。因此也进一步验证了选用寿王坟铜矿作为典型矿床的可靠性。

3.3 成矿模式

在 1 : 200 000 和 1 : 50 000 比例尺水系沉积物测量中,蓟县夕卡岩型铜矿地球化学异常的分布均与区内碳酸盐岩地层和中酸性岩体(岩脉)密切相关,呈现典型的夕卡岩型铜矿成矿模式,与邻区的寿王坟夕卡岩型铜矿具有相似的成矿模式(图 4)。寿王坟夕卡岩型铜矿矿体赋存于寿王坟岩体南西部的石英二长岩与中元古界雾迷山组燧石条带白云岩的接触带及距接触带 200 m 以内的白云岩中,铜矿的成矿母岩为寿王坟杂岩体中的石英二长岩,是晚侏罗世侵入的岩体,矿床类型为与燕山晚期侵入岩有关的接触交代型铜矿床^[10-13]。

3.4 地球化学定量预测

地球化学定量预测是根据水系沉积物、土壤的元素含量值估算而来的,水系沉积物是汇水流域内各种岩石、矿石风化产物的天然组合,土壤是已风化基岩之上岩石、矿石风化作用的残留疏松物,它们对

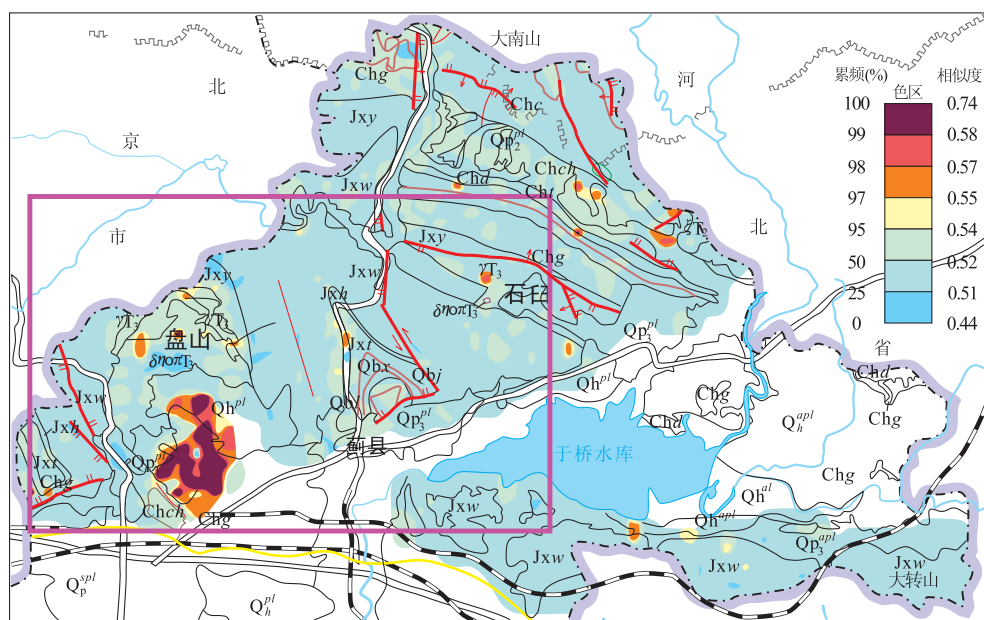


图 3 蓟县北部山区夕卡岩型铜矿地球化学相似度图

Fig. 3 Map showing similarity of skarn copper deposits areas in Jixian

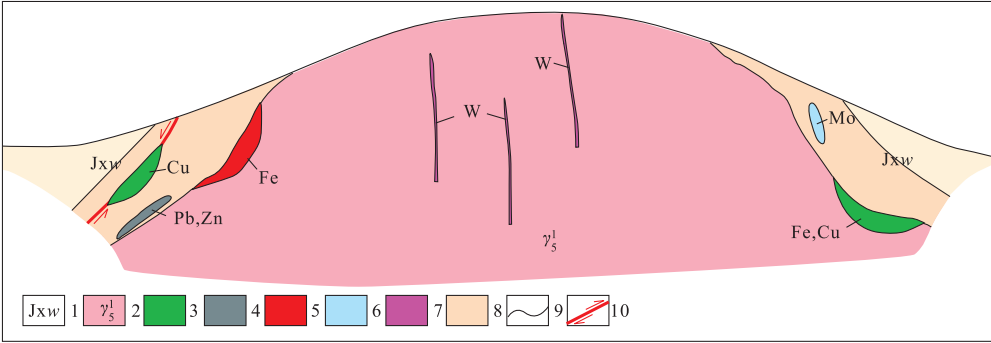


图 4 寿王坟夕卡岩型铜矿成矿模式简图

Fig. 4 Metallogenic model of Shouwangfen skarn copper deposit
1. 蓟县系雾迷山组; 2. 花岗岩; 3. 铜多金属矿体; 4. 铅锌矿体; 5. 铁矿体;
6. 钼矿体; 7. 含钨石英脉; 8. 夕卡岩; 9. 地质界线; 10 断层

基底和盖层的地球化学特征及各种地质作用留下的印迹有良好的指示意义^[14]。因此,可以根据水系沉积物、土壤中元素的异常含量、异常规模(异常面积、异常强度、元素组合)的地球化学特征来估算资源量。常用的定量预测的地球化学方法有地球化学块体法、类比法(不考虑剥蚀系数和考虑剥蚀系数 2 种)、面金属量法(有不考虑剥蚀系数和考虑剥蚀系数的 2 种方法)、丰度估算法、体积品位估算法。本次研究根据实际情况,选用考虑剥蚀系数的面金属量法进行资源量预测,面金属量法的基本思想是认为区域内资源量(储量)与异常范围内面积与平均值和背景值之差的乘积(面金属量)成正比,计算公式如下:

$$K=R\frac{S_{已知}(X_{已知}-B_{已知})}{\frac{Pu_{已知}}{(1-F_{已知})}}\\ =\frac{S_{已知}(X_{已知}-B_{已知})}{\frac{Pu_{已知}}{(1-F_{已知})}}\\ 则:Pu_{已知}=\frac{S_{未知}(X_{未知}-B_{未知})(1-F_{已知})}{K(1-F_{已知})}$$

式中, K 为考虑剥蚀系数状态下的比率; R 为相似系

数; $F_{已知}$ 为已知矿床剥蚀系数; $F_{未知}$ 为未知矿床剥蚀系数; $Pu_{已知}$ 为已知矿区的资源量(储量); $S_{已知}$ 为已知区的异常面积; $X_{已知}$ 为已知矿区的平均含量; $B_{已知}$ 为已知矿区的背景值; $Pu_{未知}$ 为未知矿区的资源量(储量); $S_{未知}$ 为未知区的异常面积; $X_{未知}$ 为未知矿区的平均含量; $B_{未知}$ 为未知矿区的背景值。

通过地球化学定量预测,计算出蓟县夕卡岩型铜矿的资源量(储量),计算结果见表 3。

4 结论

位于蓟县北部山区的夕卡岩型铜矿研究区具有良好的夕卡岩型铜矿成矿条件,并与邻区的寿王坟夕卡岩型铜矿具有相似的成矿模式。本文选取寿王坟铜矿作为研究蓟县夕卡岩型铜矿的典型矿床,根据矿产资源地球化学定量预测方法技术,计算出盘山预测区剥蚀系数约为 0.7,石臼预测区剥蚀系数约为 0.5,属于中—深程度剥蚀,盘山预测区和石臼预测区的相似系数均为 0.74,采用考虑剥蚀系数的面金属量法计算了蓟县夕卡岩型铜矿的预测资源量。

表 3 蓟县夕卡岩型铜矿地球化学面金属量法资源量计算结果

Table 3 Calculation result of skarn copper mineral resources in Jixian area by the areal productivity method

预测区	盘山(未知)	石臼(未知)	寿王坟(已知)
异常面积 S/km^2	35.21	4.02	134
异常平均值 $X/(w_b/10^{-6})$	43.94	34.21	84.22
背景值 $B(w_b/10^{-6})$	23.71	23.71	21.43
剥蚀系数 F	0.7	0.5	0.2
相似系数 R	0.74	0.74	—
考虑剥蚀系数储量 $Pu/10^4\text{ t}$	a	b	c

注:①寿王坟铜矿相关数据均由河北省相关单位提供;②本次预测的资源量(储量)均以 a, b, c 表示。

致谢:在典型矿床的选取研究中,河北省相关单位同行给予了详细指导,并提供了必不可少的资料,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 陈一笠. 试论天津蓟县盘山岩体的侵入时代[J]. 天津地质学会志, 1991, 9(1): 22-26.
- [2] 陈一笠. 津北盘山岩体侵入时的大地构造环境[J]. 天津地质学会志, 1993, 11(2): 20-25.
- [3] 杨福全, 赵越, 曾庆利. 天津蓟县盘山 I 型-A 型复合花岗岩体——区域构造环境转变的记录? [J]. 岩石学报, 2003, 23(3): 529-546.
- [4] 马寅生, 曾庆利, 宋彪. 燕山中段盘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定及其构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 547-565.
- [5] 王季亮, 李丙泽, 周德星. 河北省中酸性岩体地质特征及其与成矿的关系[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 202-203.
- [6] 王玉富, 李义, 张绍宗. 天津蓟县盘山石英二长岩体的 Rb-Sr 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 1988, 3(3): 90-93.
- [7] 王玉富. 蓟县盘山花岗岩主体的特征及成因[J]. 天津地质学会志, 1989, 7(1): 14-21.
- [8] 吴珍汉, 崔盛芹, 朱大岗. 燕山南缘盘山岩体的热历史与构造—地貌演化过程[J]. 地质力学学报, 1999, 5(3): 28-32.
- [9] 施俊发, 唐金荣, 周平. 找矿模型与矿产勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 56-60.
- [10] 章百明. 河北省矿床成矿系列与成矿区带研究[M]. 北京: 石油出版社, 1996: 93-96.
- [11] 张瑞斌. 河北寿王坟铜矿成矿定年及同位素地球化学特征[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2002.
- [12] 杨志达, 杨兆才. 河北寿王坟一小寺沟火山—侵入杂岩体找矿的新认识[J]. 地质找矿论丛, 1988, 3(3): 22-33.
- [13] 徐启东, 朱中一. 河北承德若干矿床成矿流体特性及对矿化类型的制约[J]. 现代地质, 1993, 7(2): 205-214.
- [14] 朱华平, 张德全. 区域化探异常的地球化学勘查评价方法技术进展综述[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 35-38.

Application of geochemically quantitative prediction of mineral resources to skarn copper deposit in Jixian area

WANG Wei-xing, CAO Shu-ping, CHENG Xu-jiang, CHEN Yi-li, WANG Li-ying, DUO Xing-fang

(Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

Abstract: In the north mountains of Jixian area exist similar metallogenic conditions of Shouwangfen skarn copper deposit in Xinglong county, Hebei province. Following the metallogenic model of Shouwangfen copper deposit mineral resources of skarn copper ore in Jixian area is calculated with the geochemically quantitative prediction method. Denudation coefficient is 0.7 in Panshan prediction area, 0.5 in Shijiu area showing medium-deep denudation of the prediction areas. The similarity coefficient of the two areas is 0.74, and resource of skarn copper deposits in Jixian by the areal productivity method of concerned with denudation coefficient.

Key Words: Shouwangfen copper deposit; skarn copper; geochemical statistical forecasting; Jixian; Tianjin