

文章编号 10258-7106 (2006) 01-0053-07

甘肃省金矿资源预测模型及潜力评价*

罗建民^{1, 2}, 侯云生², 张新虎², 彭德启², 牛洪斌^{1, 2}

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2 甘肃省地质矿产勘查开发局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 为了更加科学有效地部署甘肃省金矿勘查找矿工作, 必须对全省金资源总量作出定量预测, 对省内各成矿带的金资源潜力作出定量评价。文章对甘肃省已发现的 429 处金矿床(点)的资料及全省 1:20 万区域化探资料进行了统计和研究, 建立了甘肃省金资源总量丰度估算模型、品位-储量回归预测模型及全省各成矿带金资源潜力分布模型。通过定量预测得知, 甘肃省金资源总量的上限值为 3 166 t, 金资源总量为 2 420.6 t, 西秦岭成矿带的金资源潜力最大, 占全省金资源潜力的 37%, 祁连成矿带次之, 占 24%, 扬子成矿带占 15%, 北山成矿带占 13%。据甘肃省岩金资源回归预测模型, 岩金矿床在甘肃省具有极大的资源潜力。

关键词 地质学, 金资源, 资源总量, 预测模型, 资源潜力, 甘肃省

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

Reserve predictive model and resource potential appraisal of gold deposits in Gansu Province, China

LUO JianMin^{1, 2}, HOU YunSheng², ZHANG XinHu², PENG DeQi² and NIU HongBin^{1, 2}

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

In order to arrange the gold mine exploration work of Gansu Province scientifically and effectively, we must make a quantitative prediction of the gold resource reserves and resource potential in each metallogenic belt of Gansu Province. Based on statistics and studies of the data from 429 gold deposits, ore occurrences and mineralized spots and the 1:200 000 regional geochemical data from Gansu Province, the authors established the total gold resource reserve estimation model and the grade-reserve regressive prediction model. The resource potential appraisal of the overall gold resources and of each metallogenic belt in Gansu Province was also conducted. The quantitative prediction reveals that the upper value of Gansu gold resource stock is 3 166 t, the gold resource stock is 2 420.6 t, and the proven reserve is 709.6 t. The gold resource potential of the western Qinling metallogenic belt is most promising, making up 37% of the gold resource potential in Gansu Province. The Qilian metallogenic belt possesses the second place and accounts for 24%. The Yangzi metallogenic belt accounts for 15% and the Beishan metallogenic belt accounts for 13%.

Key words: geology, gold resource, resources stock, predictive model, resource potential appraisal, Gansu Province

* 本文得到甘肃省地质矿产勘查开发局“甘肃省黄金资源及可持续发展”项目(编号 12BN7-5424-0905-0)的资助
第一作者简介 罗建民, 男, 1958 年生, 高级工程师, 在读硕士研究生, 主要从事区域地质、矿产地质调查与研究工作。
收稿日期 2005-04-13; 改回日期 2005-07-15。

甘肃省地质矿产勘查开发局曾对全省金资源总量作过 2 次较为全面的预测工作,分别在 20 世纪 80 年代和 90 年代。

甘肃省第一轮金矿Ⅲ级成矿远景区划^①(1981~1986 年)仅以基于主观判断的“德尔非法”对全省金资源总量作了预测,求得 50% 概率意义上的全省金资源总量 1 129.6 t。

甘肃省第二轮成矿远景区划^②(1992~1994 年)主要以基于地质环境与成矿标志分析的“矿床模型法”对全省岩金资源总量作了预测,求得全省岩金资源总量 1 443.5 t。

鉴于可资利用的资料有限,因而,这 2 次预测工作均未对甘肃省金资源总量作出全面的定量预测,也未能对全省各成矿带的金资源潜力作出客观的评价。

20 世纪 90 年代以来,全省各地质勘探部门对金矿勘查、研究工作投入了大量的资金和人力,使甘肃省金矿的勘查、开发工作有了长足发展,也为全省范围的金资源定量预测工作积累了丰富的资料。在前人工作的基础上,笔者对甘肃省已发现的 429 处金矿床(点)的资料及全省 1:20 万区域化探资料进行了统计和研究,建立了甘肃省金资源总量丰度估算模型、品位-储量回归预测模型及全省各成矿带金资源潜力分布模型,对省内金资源总量作出了定量预测,对全省各成矿带金资源潜力作出了定量评价(侯云生等,2004),为更加科学有效地部署甘肃省金矿勘查找矿工作提供了科学依据。

1 甘肃省金资源总量丰度估算模型

据甘肃省区域化探(1:20 万水系沉积物)测量成果整理(侯云生等,2004),其水系沉积物中 Au 含量平均值为 2.041×10^{-9} 。该省各主要成矿带的 Au 元素丰度值见表 1(侯云生等,2004)。以 1:100 万《甘肃省金矿Ⅲ级区划图》^③为底图,分别计算出各成矿带内岩石出露区和第四系覆盖区的面积(表 1)。

据现有资料,采用丰度估算模型对全省金资源总量和各成矿带金资源总量进行预测。

一般元素在地壳中的丰度愈高,形成矿床的可能性愈大,相应的矿床储量也大。经各国地质学者多年研究发现^④(赵鹏大等,1994),各种成矿元素资源总量与该元素在地壳中的丰度有着极为密切的关系(赵鹏大等,1994;彭富钰等,1985):

$$R = A \times 10^f$$

式中:R—估算的资源总量(单位为 t);

A—区域丰度值;

f—丰度估算模型经验值。

综合前人研究成果^④(赵鹏大等,1994),考虑到 Au 丰度值极低,结合甘肃省一、二轮成矿远景区划^{②③}中金资源总量为千吨级别,在此给定 $f = 12$ 。

通常确定该模型的预测深度为 1 km,即预测结果是预测区内深度 1 km 以上的资源总量。

由表 1 可见,甘肃省各成矿带金元素丰度值的差别较大,各成矿带的面积及第四系覆盖的程度也有很大差别。为消除这些因素对全省平均丰度值的影响,特作如下处理(肖克炎等,1999):

(1) 消除不同成矿带面积对 Au 元素平均丰度值的影响:以面积百分比作为权系数,分别计算各成矿带内岩石出露区和第四系覆盖区的面积加权平均丰度值(表 1 中省略)。岩石出露区 Au 元素面积加权平均丰度值为 2.392×10^{-9} ,第四系覆盖区 Au 元素面积加权平均丰度值为 2.041×10^{-9} 。

(2) 消除各成矿带内岩石出露区与第四系覆盖区面积比例对 Au 元素平均丰度值的影响:分别计算出各成矿带内岩石出露区和第四系覆盖区占该区总面积的比例,再以相应区域的丰度比例相乘,得出该区丰度比例值(表 1 中省略)。甘肃省 Au 元素面积加权平均丰度值为 2.977×10^{-9} 。

(3) 消除第四系覆盖深度对 Au 元素平均丰度值的影响:考虑到各成矿带内第四系覆盖的深度不同,在此给定各成矿带内第四系覆盖区的平均深度为 500 m,则各成矿带内岩石出露区与第四系覆盖区的深度比为 3:1。由此分别计算出各成矿带内岩石出露区与第四系覆盖区深度调整丰度比例(表 1 中省略)及各成矿带总丰度比例(表 1)。

经面积加权、深度调整处理后,甘肃省 Au 元素

① 甘肃省地质矿产局. 1986. 甘肃省金矿Ⅲ级成矿远景区划资源总量预测报告. 科研报告.

② 甘肃省地质矿产局. 1994. 甘肃省成矿远景区划及“九五”找矿地质工作部署建议. 科研报告.

③ 甘肃省地质矿产局. 1986. 甘肃省金矿Ⅲ级成矿远景区划资源总量预测报告. 科研报告.

④ 潘恩沛,朱裕生,田丰才,等. 1982. 矿产资源总量预测评价方法. 湖南地质矿产局. 168~189. (内部出版物).

表 1 甘肃省各成矿构造带面积、Au 元素丰度调整值及预测资源总量统计表(据侯云生等, 2004)

Table 1 Areas of tectonic mineralized zones , regulated Au abundance values and predicted gross mineral resources in Gansu Province

成矿域	成矿省	成矿带	成矿亚带	总面积 /km ²	岩石出露区		第四系覆盖区		丰度 比例	预测金资源总量/t			
					丰度 /10 ⁻⁹	面积 /km ²	丰度 /10 ⁻⁹	面积 /km ²		岩石 出露区	第四系 覆盖区	分带	合计
古亚洲	天山	北山	明水-红石山	9145	0.93	6097	2.04	3048	0.037	31.7	5.7	37.4	436.1
			马鬃山	23610	2.00	11805	2.04	11805	0.132	98.8	33.3	132.1	
			红柳园-天仓	32180	2.06	21453	2.04	10727	0.267	246.5	20.1	266.6	
	塔里木	敦煌		32280	1.50	4035	2.04	28245	0.146	6.3	139.2	145.5	145.5
	华北	阿拉善	龙首山	32440	1.32	4972	2.04	27468	0.139	8.4	131.0	139.4	139.4
	秦祁昆	祁连	走廊带	43650	1.90	15129	2.04	28521	0.188	83.3	105.0	188.3	719.5
			北祁连	46780	1.90	25011	2.04	21769	0.270	212.5	57.1	269.6	
			中祁连	54640	1.90	17883	2.40	36757	0.232	93.0	139.3	232.3	
			南祁连	5520	2.25	2370	2.40	3150	0.029	19.2	10.1	29.3	
	西秦岭		党河南山	4190	2.70	2793	2.04	1397	0.045	42.1	2.6	44.7	1205.7
			北秦岭	33080	2.70	28182	2.04	4898	0.546	542.3	4.1	546.4	
			中秦岭	33490	2.70	30140	2.04	3350	0.615	612.7	1.9	614.6	
特提斯	松-甘	巴颜喀拉	松潘-甘孜	3800	3.00	3800	2.04	0	0.095	95.4	0.0	95.4	95.4
太平洋	扬子	摩天岭	碧口	5640	9.00	5640	2.04	0	0.425	424.6	0.0	424.6	424.6
	合计			360445		179310		181135	3.166	2516.8	649.4	3166.2	3166.2
	变化系数			1.831	0.8	0.786		0.996					

的平均丰度值为 3.166×10^{-9} (表 1)。

以甘肃省 Au 元素面积加权、深度调整平均丰度值 $A = 3.166 \times 10^{-9}$, $f = 12$,

代入 $R = A \times 10^f$

经计算得到甘肃省金资源总量丰度估算模型及预测资源总量：

$$R = 3.166 \times 10^{-9} \times 10^{12} = 3\,166\text{ t}$$

甘肃省的金资源总量为 3 166 t ,其中岩金(包括伴生金) 2 517 t ,砂金 649 t。各成矿带的金资源总量见表 1。

2 甘肃省金资源总量回归预测模型

以全省矿床(点) 资料建立了甘肃省金矿床(点) 类型、品位、储量及产出位置等的信息数据库。全省共发现岩金矿床(点) 310 处 , 累计储量 528.781 t ; 砂金矿床(点) 101 处 , 累计储量 61.394 t ; 伴生金矿床(点) 18 处 , 累计储量 119.422 t , 其 94.4% 分布于金川铜镍矿床和白银铜矿床中。

基于现有资料及甘肃省矿床储量分布特征 , 采用下述方法对全省不同类型金资源总量进行预测。

2.1 岩金矿床品位-储量回归预测模型

在笔者建立的甘肃省金矿床(点) 信息数据库中 , 选取有完整品位、储量记载的岩金矿床(点) 161 处 , 累计储量 450.499 t , 占该类矿床(点) 总储量的 85.2%。

对岩金矿床按品位分为 22 段(分段步长为 1×10^{-6}) , 以各品位分段和各段累计储量绘制出品位分段-各段累计储量分布图及多项式拟合曲线(图 1)。

经多项式曲线趋势分析 , 甘肃省岩金矿床(点) 各品位段的累计储量趋势明显分为两段 : 中、低品位段($w_{Au} 1 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$) , 占岩金矿床(点) 总储量的 95.4% ; 高、特高品位段($w_{Au} > 13 \times 10^{-6}$) , 仅占 4.6%。因此 , 只分析和研究中、低品位段金矿床(点) 的品位-储量变化趋势 , 足以代表甘肃省岩金矿床(点) 的总体特征。

由于矿床品位与储量符合对数分布 , 以中、低品位段($w_{Au} 1 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$) 品位为自变量 , 累计储量为因变量 , 对品位、累计储量作幂函数拟合 , 建立甘肃省岩金矿品位-储量回归预测模型(赵鹏大等 , 1990 ; 冯士雍 , 1985 ; 肖斌等 , 2001)(图 2) :

$$Y = 673.79X^{-0.8578}$$

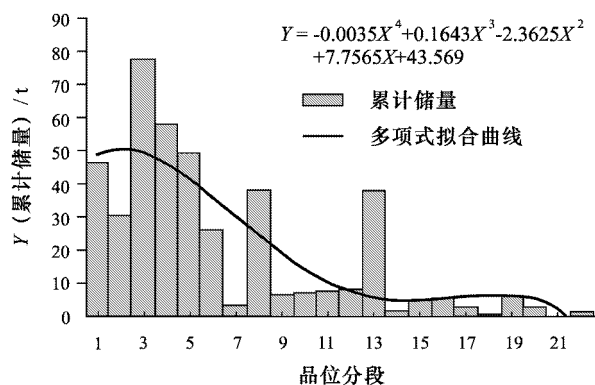


图 1 甘肃省岩金矿品位分段-各段累计储量分布图

Fig.1 Distribution of petrologic gold grades and resources in Gansu Province

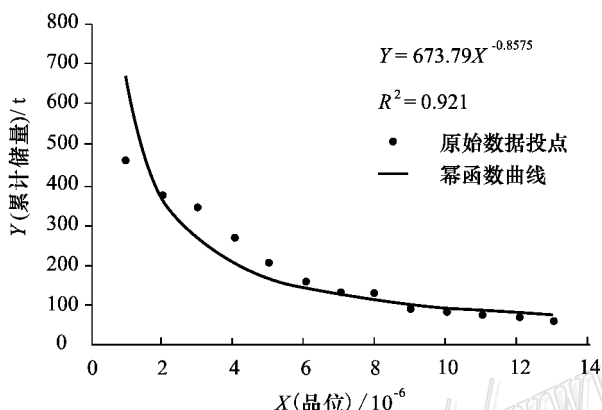


图 2 甘肃省岩金矿品位-累计储量回归预测模型

Fig.2 Petrologic gold grades of various deposits in Gansu Province and regression predictive model for accumulated reserves

$$R^2 = 0.921$$

式中, X 为岩金矿品位 (10^{-6}),

Y 为甘肃省岩金累计储量预测值 (t),

R^2 为相关指数。

由回归模型及相关指数可知,岩金矿品位与累计储量呈负相关关系,且所建立的回归函数具有很高的拟合度。因而,应用该回归模型对甘肃省岩金矿床(点)作储量预测具有较高的可信度。

2.2 甘肃省砂金矿品位-储量回归预测模型

采用相同的方法建立甘肃省砂金矿品位-储量回归预测模型(图 3)。

$$Y = 5.8119X^{-1.3563}$$

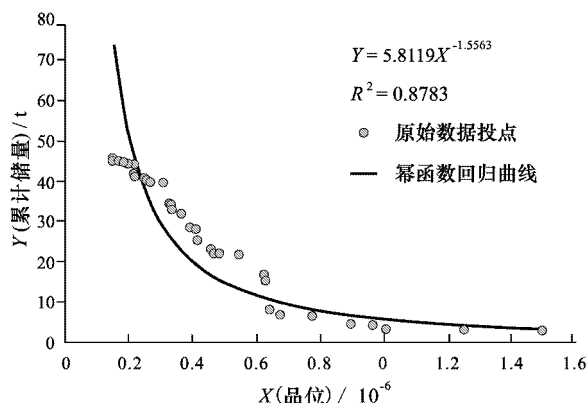


图 3 甘肃省砂金矿品位-累计储量回归预测模型

Fig.3 Gold placer grades of various deposits in Gansu Province and regression predictive model for accumulated reserves

$$R^2 = 0.878$$

2.3 伴生金矿资源总量预测

甘肃省内共发现伴生金矿 18 处,其中具储量记载的有 11 处,累计储量为 119.422 t。

作为伴生元素产于金川铜镍矿床和白银铜矿床中的金储量占了全省伴生金矿床总储量的 94%,因此,仅以大型伴生金矿床的预测结果即可代表全省该类型金矿床的资源总量。

(1) 阿拉善成矿带伴生金资源总量预测:甘肃省阿拉善成矿带由龙首山成矿带(金川铜镍矿床即产于其中)和北大山成矿带的一部分构成,具有形成金川式超基性岩型铜、镍硫化物矿床的地质条件。

根据 1985 年由甘肃省地质矿产局和成都地质学院联合完成的《甘肃省龙首山区镍矿资源总量预测及方法研究》^①成果,其资源量预测结果见表 2。

根据伴生金所占镍、铜矿储量的比例,经平均推算得龙首山成矿带的伴生金预测资源量为 13.9 t。

北大山与龙首山的岩石出露面积比值为 0.743,由此推算,北大山成矿带的伴生金预测资源量为 10.38 t。

因而,甘肃省阿拉善成矿带的伴生金预测资源量为 24.28 t。其资源总量为 103.537 t。

(2) 白银厂铜矿床及其外围伴生金资源总量预测:甘肃省白银厂铜矿床 5 个矿区的累计探明属铜为 131.39×10^4 t,金为 33.463 t。

根据 1982 年中南矿冶学院李公时教授的《应用

① 甘肃省地质矿产局,成都地质学院. 1985. 甘肃省龙首山区镍矿资源总量预测及方法研究. 内部资料.

表 2 甘肃省龙首山铜-镍资源总量预测统计表
Table 2 Statistics of predicted gross copper and nickel resources in Longshou Mountain area of Gansu Province

资源级别	勘探储量/ 10^4 t		矿床模型法预测		德尔菲法预测	
			资源量/ 10^4 t		资源量/ 10^4 t	
	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu
B+C+D	547.9	346.5				
E			64.3	42.0	122.8	77.3
F			0.1	0.1		
F+G					4.3	2.7
合计	547.9	346.5	64.4	42.1	127.1	80.0

齐波夫分布律对白银厂铜矿潜在储量的估计》^①成果,白银厂铜矿床及其外围,以齐波夫分布律估计的铜资源总量为 294.99×10^4 t。

按金储量在白银厂铜矿床中所占比例推算得,甘肃省白银厂铜矿床及外围的伴生金总资源量估计值为 75.22 t。

(3) 甘肃省伴生金资源总量预测:甘肃省阿拉善成矿带和白银厂铜矿床及其外围的伴生金资源总

量为 178.76 t。由于阿拉善成矿带和白银厂铜矿床的已探明伴生金储量占全省该类型矿床(点)总储量的 94%,因而,据此推算,甘肃省伴生金总资源量为 190.17 t。

3 甘肃省金资源总量预测及潜力评价

3.1 甘肃省各成矿带金资源总量预测及潜力评价

甘肃省各成矿带据丰度估算模型预测得出的金资源总量,以及探明储量和由此计算所得的金资源潜力的统计数据列于表 3。

以表 3 中各成矿带的金资源潜力所占百分比作图,得到甘肃省各成矿带金资源潜力分布模型(图 4)。

由表 3、图 4 可见,西秦岭成矿带是甘肃省金资源潜力最大的地区(占资源总量的 37%),是今后甘肃省部署金矿找矿工作的首选区域;其次为祁连成矿带(24%),扬子成矿亚带(15%)和北山成矿带(13%)也有较高的资源潜力。

表 3 甘肃省各成矿带金资源总量、资源潜力分析表
Table 3 Gold reserves and resource potential of Gansu Province

成矿带	金资源总量/t			探明储量/t			资源潜力	
	岩金+伴、共生金	砂金	合计	岩金+伴、共生金	砂金	合计	资源量/t	所占比例/%
北山成矿带	377.0	59.1	436.1	113.9	1.2	115.1	321.0	13
敦煌成矿带	6.3	139.2	145.5				145.5	6
阿拉善成矿带	8.4	131.0	139.4	79.3		79.3	60.1	2
祁连成矿带	408.0	311.5	719.5	103.7	17.3	121.0	598.5	24
西秦岭成矿带	1197.1	8.6	1205.7	281.0	18.3	299.3	906.4	37
松潘-甘孜成矿带	95.4	0	95.4	43.8		43.8	51.6	2
扬子成矿带	424.6	0	424.6	26.5	24.6	51.1	373.5	15
合计	2516.8	649.4	3166.2	648.2	61.4	709.6	2456.6	

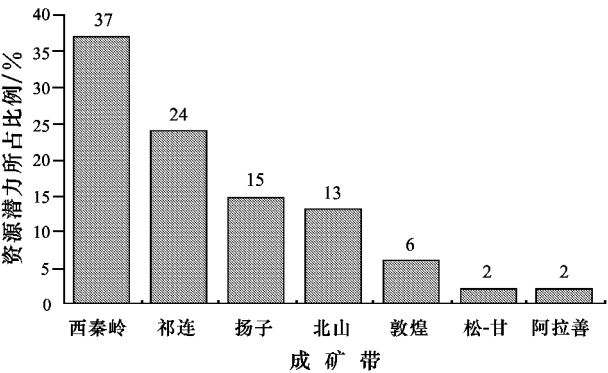


图 4 甘肃省金资源潜力分布模型

Fig. 4 Distributive model for gold resource potential of Gansu Province

3.2 甘肃省各类型金矿床资源总量预测及潜力评价

资源总量预测 众所周知,矿床的工业品位是决定矿床能否被开采利用的重要参数。而且,矿床工业品位随着社会的发展、技术水平的提高及生产规模和工业化程度的提高而逐步降低并趋于某一极限值。随着矿床工业品位的降低,该矿床的资源总量将急剧增大(朱裕生,1999)。

在此假设,将来技术水平、生产工业化程度达到相当高的程度,岩金矿床(氧化矿+原生矿)开发利用的工业品位的最低极限若降至 0.3×10^{-6} ,砂金矿床开发利用的工业品位的最低极限降至 0.05 g/m^3

① 甘肃省金属学会,地质学会. 1982. 白银地区找矿前景学术讨论会议论文集. 182~184. 内部资料.

时,由甘肃省岩金品位-储量回归预测模型确定的岩金预测资源总量将达到 1 892.56 t,砂金的预测资源总量将达到 337.99 t。

甘肃省不同类型金矿床回归预测资源总量、探明储量及金资源潜力的统计数据列于表 4。

资源潜力评价 由表 4 可见,甘肃省岩金矿的潜在资源量为 1 363.76 t,资源潜力占全省资源总潜力的 80%。因此,甘肃省岩金具有极大的资源潜力,是甘肃省今后研究、勘查、开发的重要矿床类型。

3.3 预测模型评价

丰度估算法是一种经验预测方法,其目的是对预测区资源总量作出估算。由于该方法以区域丰度值为依据,而地壳丰度代表某地区岩石最大可能的金属含量,因此,可认为是预测区资源总量的上限值。

本文中的区域丰度值选用全省 1:20 万区域化探统计结果,充分考虑了甘肃省的地质景观特征,以各成矿带的面积、岩石出露与覆盖面积比例为权系数,计算全省丰度加权平均值。从预测结果分析,岩金(包括伴生金)预测结果可信度较高。

砂金的预测结果略显偏大,主要由第四系覆盖区选用全省平均丰度值(偏大)和部分成矿带第四系覆盖区面积过大等原因所造成。另外,扬子成矿带因砂金资源丰富、金元素丰度值过高而导致其资源潜力百分比偏高。

回归分析是一种成熟的数学模拟方法,其精度取决于拟合函数的正确选用、样本的合理选取及相关指数的大小。

经计算,岩金预测模型($Y = 673.79X^{-0.8578}$)的相关指数($R^2 = 0.92$)及砂金预测模型($Y = 5.8119X^{-1.3563}$)的相关指数($R^2 = 0.878$)均具有较高的拟合度。本文所选岩金、砂金预测样本品位(自变量)的取值仅分别超出建模样本品位平均数的 5.4% 和

7.4%,符合回归统计原理。因此,应用上述两个模型分别对甘肃省岩金和砂金资源总量进行预测的结果具有较高的可信度。

伴生金资源总量预测分别采用前人对主矿床资源总量的估算预测结果,以伴生金在主矿床中所占比例推算出伴生金资源总量,再者,预测只涉及占全省 94% 的大型矿床,因此,预测结果及精度略显偏低。

4 结 论

(1)建立了甘肃省金矿信息数据库,经统计,全省共发现岩金矿床(点)310 处,累计储量 528.781 t;砂金矿床(点)101 处,累计储量 61.394 t;伴生金矿床(点)18 处,累计储量 119.422 t。

(2)以加权平均法消除各成矿带面积、岩石出露区与第四系覆盖区面积比例及第四系覆盖深度等影响因素,建立了甘肃省金资源总量丰度估算模型: $R = 3.166 \times 10^{-9} \times 10^{12}$,估算得甘肃省金资源总量(资源总量上限值)3 166 t。其中,岩金(包括伴生金)2 516.7 t,砂金 649.5 t。

(3)以甘肃省金资源总量丰度估算模型的估算结果与该省各成矿带累计金储量对比,建立了甘肃省各成矿带金资源潜力分布模型。其中,西秦岭成矿带的金资源潜力最大,占全省金资源潜力的 37%,是今后该省部署金找矿工作的首选区域;祁连成矿带次之,占 24%;扬子成矿带占 15%;北山成矿带占 13%。

(4)据已发现金矿床的品位和累计储量,建立了甘肃省岩金资源总量回归预测模型 $Y = 673.79X^{-0.8578}$,以及砂金资源总量回归预测模型 $Y = 5.8119X^{-1.3563}$ 。预测得金资源总量 2 420.55 t,其中岩金 1 892.56 t,砂金 337.99 t。利用前人资料推算出伴生金资源总量为 190 t。

(5)岩金的回归预测资源总量为 1 892.56 t,而已发现的岩金累计储量为 528.781 t,因此,岩金矿床在甘肃省具有极大的资源潜力(占全省金资源潜力的 80%),是今后研究、勘查和开发的重要矿床类型。

References

Feng S Y. 1985. Regressional analysis methods [M]. Beijing :Science Press (in Chinese).

表 4 甘肃省金资源总量、资源潜力分析表
Table 4 Gross gold reserves and resource potential
of Gansu Province

金矿类别	金资源总量/t	探明储量/t	资源潜力	
			资源量/t	所占比例/%
独立岩金	1892.56	528.80	1363.76	80
伴、共生金	190.00	119.40	70.60	4
砂金	337.99	61.40	276.59	16
合计	2420.55	709.60	1710.95	100

- Hou Y S, Zhang X H and Peng D Q. 2004. Gold resources and its sustainable development in Gansu Province [M]. Lanzhou : Gansu Scie. & Techn. Press. 46~82 (in Chinese).
- Peng F Y, Yang B J and Guo L H. 1985. Application of the abundance method used in researches for general prediction of vanadium titanomagnetite resources [J]. Mineral Deposits, 4(4): 89~92 (in Chinese with English abstract).
- Xiao B, Pan M, Zhao P D, Wang J G and Long S Y. 2001. Quantitative evaluation of mineral resources used in volcanic-uranium resource application research [J]. Mineral Deposits, 20(3): 199~219 (in Chinese with English abstract).
- Xiao K Y, Zhu Y S, Zhang X H, Song G Y and Chen Z H. 1999. The technology of mineralize information abstraction and synthesizing in mineral resources evaluation [J]. Mineral Deposits, 18(4): 380~384 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P D, Hu W L and Li Z J. 1994. Statistical prediction of mineral deposits [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 96~99 (in Chinese).
- Zhao P D, Wei M and Jin Y Y. 1990. Statistical analysis of geologic exploration [M]. Wuhan : Publishing House of China University of Geoscience. 50~100 (in Chinese).
- Zhu Y S. 1999. The development of evaluation of the mineral resources potential in China [J]. Geology in China, 11(9): 31~34 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 冯士雍. 1985. 回归分析方法 [M]. 北京 : 科学出版社.
- 侯云生, 张新虎, 彭德启. 2004. 甘肃省黄金资源及可持续发展 [M]. 兰州 : 甘肃科学技术出版社.
- 彭富钰, 杨本锦, 郭履和. 1985. 丰度法在钒钛磁铁矿资源总量预测中的应用 [J]. 矿床地质, 4(4): 89~92.
- 肖斌, 潘懋, 赵鹏大, 王京贵, 隆盛银. 2001. 矿产资源定量评价在火山岩铀资源中的应用研究 [J]. 矿床地质, 20(3): 199~219.
- 肖克炎, 朱裕生, 张晓华, 宋国耀, 陈郑辉. 1999. 矿产资源评价中的成矿信息提取与综合技术 [J]. 矿床地质, 18(4): 380~384.
- 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 1994. 矿床统计预测 [M]. 北京 : 地质出版社.
- 赵鹏大, 魏民, 金友渔. 1990. 地质勘探中的统计分析 [M]. 武汉 : 中国地质大学出版社.
- 朱裕生. 1999. 矿产资源潜力评价在我国的发展 [J]. 中国地质, 11(9): 31~34.