第25卷第4期 长安大学学报(地球科学版) Vol. 25 No. 4
2003年12月 Journal of Chang'an University (Earth Science Edition) Dec. 2003

应用 GIS 研究中国原生金矿与砂金矿的关系

周 军[1]， 高凤亮[1]， 沈杉平[2]

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院,陕西 西安 710054;
2. 中国石化总公司新星西北分公司 开发处,新疆 乌鲁木齐 830011)

[摘要] 参阅近千件文献建立中国金矿数据库(ACCESS)及构造格架、地层、火成岩等图层与属性表(ArcInfo、ArcView),对其进行时空分析。中国砂金矿主要形成在第四纪,而原生金矿则主要形成在侏罗—白垩纪(占原生金总储量 64.6%)。空间分析发现,超过半数的原生金矿金储量(52.5%)分布在砂金矿 0～40 km 缓冲域中,其中 5～25 km 缓冲域中为 33.2%,而 0～5 km 缓冲域中仅 3%,表明原生金矿主要为 5～25 km 内砂金矿提供矿质。此外,中国砂金矿金储量 916.9 t,占总储量的 11.6%,明显少于澳大利亚的 25.2%,认为与后者原生金矿主要形成在太古代和古生代有关;中国东部中新生代(尤其第三纪)地壳减薄导致此前形成原生金矿的掩埋,可能是造成砂金较少的另一原因,这两种推测与中国缺乏古砂金相吻合。量化分析结合地质背景研究表明,西秦岭、松潘－甘孜地块、拉萨附近为依据砂金找原生金的远景区。

[关键词] GIS;原生金矿;砂金矿;缓冲域;中国;秦岭;松潘—甘孜
[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 1007－9955(2003)04－0048－07

[作者简介] 周军(1957－),男,山东金乡人,副教授(博士),现从事金矿地质、大地构造与区域成矿、GIS 在地质中的应用等教学与科研工作。

20 世纪 80 年代以来,中国金矿业得到迅猛发展,成为世界金矿储量、黄金生产与消费大国[1,2],出现了一大批研究成果,积累了丰富的实际资料。在信息技术飞速发展的今天,有必要借助 GIS(Geographical Information System)等新手段,对上述大量资料进行二次开发研究,从而有利于更好地管理、利用、研究已有金矿资源和发现新的金矿资源。

1 中国砂金矿特征及研究思路

中国已知砂金矿近 500 个,金金属资源储量 916.9 t,占总储量的 11.6% (即 916.9 t/7 880 t)①,为第三大金矿类型,仅次于以太古代中深变质岩为围岩的金矿及胶东半岛与太古代中深变质岩有关的金矿[3,9]。中国砂金矿分类见表 1,已发现砂金矿以冲积型为主,超过砂金矿总储量的 90%,其中主要属河漫滩砂金矿及阶地砂金矿亚类[4]。

表 1 中国砂金矿分类

Tab. 1 The classification of gold placers of China

成因类型	亚类或形成地貌
残积	山脊 谷底
坡积	谷坡 山麓
洪积	狭谷 支谷
冲积	河床 河滩 三角洲 河漫滩 阶地
岩溶	岩溶地貌
海积	滨岸
湖积	滨岸
冰碛	谷底 阶地
风积	砂丘

据参考文献[4～6]

基于统计与概率的金矿品位－吨位模型(gold grade－tonnage modeling)[7,8]研究表明,中国砂金矿较世界其他砂金矿品位偏高、规模偏大,品位与吨位 50%分位数(intercept for the 50th percentile)分别

[收稿日期] 2003－10－30

① 国家黄金管理局及武警黄金地质研究所编. 中华人民共和国黄金矿产图集. 1992;考虑数据来源较早,故统计中未剔除表外 E 储量;此外,60 余个金矿的储量数据参阅 1992 年之后补充勘探报告修正。

万方数据

为 0.34×10^{-6} 和 3.2 Mt 矿石[9],而世界其他砂金矿金与铂族元素亚类的上述值仅为 0.2×10^{-6} 和 1.1 Mt 矿石[7]。

中国砂金矿多比较年轻,主要形成在第四纪。吕英杰、马大明、金洪涛(1992)[4]运用 ^{14}C、热发光、古地磁等多种手段系统研究了中国砂金矿成矿年龄。这些砂金矿主要分布在黑龙江(额尔古纳、佳木斯)、内蒙古(乌拉山)、新疆(阿勒泰)及陕西(秦岭)等地(表 2,图 1)。研究显示,中国冲积型砂金矿的年龄为 220 000～750 BP(Before Present),即中更新世晚期—全新世。

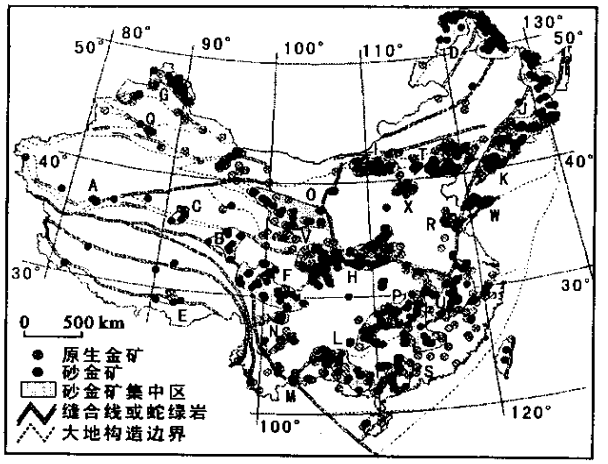
Singer(1995)[10]的统计表明,世界砂金矿储量

表 2　中国 24 个砂金矿集中区的原生金－砂金指数和潜在未知原生金储量

Tab.2　Gold reserve ratios of primary to placer gold deposits in 24 placer-cluster areas of China and their inferred lode gold resource potentials

编号	砂金矿集中区	金矿数	R	G ($N=7.59$)	P/t ($N=7.59$)
A	阿尔金	3	0.0	1.00	4.9
B	松潘Ⅱ	9	0.0	1.00	240.1
C	柴达木	5	0.3	0.96	40.9
D	额尔古纳	78	0.4	0.94	1388.5
E	拉萨	5	0.7	0.91	55.5
F	松潘Ⅰ	50	2.3	0.69	354.6
G	阿勒泰	26	3.1	0.59	60.8
H	秦岭	243	4.0	0.47	963.3
I	乌拉山	36	4.1	0.46	84.0
J	佳木斯	137	4.2	0.45	427.7
K	辽南	31	5.5	0.27	45.3
L	广西	33	5.9	0.22	35.0
M	右江	14	6.4	0.15	3.5
N	会理	8	8.4	−0.11	−2.8
O	北祁连	38	9.2	−0.21	−17.9
P	江南	102	9.6	−0.26	−77.6
Q	天山	4	10.0	−0.31	−1.2
R	鲁西	19	12.3	−0.62	−13.9
S	广东	54	19.1	−1.52	−96.5
T	燕山	81	27.5	−2.62	−293.9
U	安徽	59	28.7	−2.78	−556.2
V	南祁连	8	61.7	−7.13	−3.6
W	胶东	128	67.7	−7.92	−880.0
X	山西	21	101.9	−12.43	−60.1

R 为区内已知原生金金储量与砂金金储量比值;原生金－砂金指数 $G=(N-R)/N$,N 为中国已知原生金金储量与砂金金储量比值;潜在未知原生金金储量 $P=r_1N-r_2$,r_1 为区内已知砂金金储量,r_2 为区内已知原生金金储量。



A－阿尔金;B－松潘Ⅱ;C－柴达木;D－额尔古纳;E－拉萨;F－松潘Ⅰ;G－阿勒泰;H－秦岭;I－乌拉山;J－佳木斯;K－辽南;L－广西;M－右江;N－会理;O－北祁连;P－江南;Q－天山;R－鲁西;S－广东;T－燕山;U－安徽;V－南祁连;W－胶东;X－山西

图 1　中国砂金矿分布及 24 个较为集中区域

Fig.1　The distribution of primary and placer gold deposits and 24 placer-cluster areas of China

占金矿总储量的 11%,中国为 17%(250 t/1 470 t),上述数据存在明显问题。其一,统计中缺失许多国家砂金矿储量数据(如南非、哈萨克斯坦);其二,统计中所采用的中国金矿数据不足。此外,依据 Singer(1995)的研究,澳大利亚砂金矿储量占其金矿总储量的 15.6%(1 619 t/10 370 t),然而 Phillips 和 Hughes(1996)[11]的报道显示澳大利亚仅 Victoria 金矿省就已从砂金矿中产出 1 200 t 黄金(未包括 300 t 古砂金)。Woodall(1990)[12]的统计给出澳大利亚 1851～1987 年金产量,其中砂金占 25.2%(1 610 t/6 378 t),由此看来,中国砂金的比例(11.6%)明显较少。

如图 1 所示,中国已知砂金矿主要集中在中部与东部地区,其中海拔 1 000 m 以下低山、丘陵区所分布砂金矿大致占 64%,其余约 30% 分布在海拔 1 000～3 000 m 中山、高原区[4]。显然,砂金矿的产出主要受地貌、气候、水系、矿质来源等因素控制,对此许多学者已有论述[4,13,14],但是中国砂金矿与原生金矿总体上究竟有什么样的空间关系?上述因素大致相同的每一个砂金矿富集区(表 2)中砂金矿与原生金矿在数量上有什么不同?笔者尝试用 GIS 方法定量研究上述问题,从二者的空间关系上揭示矿质来源对砂金矿的宏观控制并由此探讨依据砂金矿分布寻找原生金矿的宏观线索,为深入具体工作

万方数据

提供研究方向。

2 GIS 研究方法

2.1 建立金矿数据库

1979 年底世界金价由 200 美元/盎司猛升到近 700 美元/盎司,1980 年元月中旬达到 843 美元/盎司,由此拉开了全球金矿业高速发展的序幕[1,2]。笔者参阅了 20 世纪 80 年代以来国内外近千篇(部)有关中国金矿与大地构造的研究文章及专著,建立中国金矿数据库①,其中储量与品位数据主要依据国家黄金管理局及武警黄金地质研究所编"中华人民共和国黄金矿产图集"(1992 年出版)和 60 余份金矿勘探报告。

数据库以 EXCEL、dBASE IV 及 ACCESS 为软件工作平台,包括 1 500 个金矿,每个金矿有位置(经纬度)、品位、储量等。原生金矿还有主要及次要有用组分、矿石矿物组合、成因类型、围岩岩性及岩石化学特征、大地构造背景、矿石及围岩年龄范围等。对于数据来源及其他说明性数据(如测试方法、同位素组成、测定时间)等均详细注释。

2.2 建立地质图层

借助 Idrisi、ER Mapper 等 GIS 软件,在 ArcInfo 和 ArcView 工作界面下,分析建立中国大地构造格架及缝合带、构造层、地层、花岗岩、火山岩等图层与属性表,这项工作涉及最近 10 余年来国内出版的许多有关中国地质、大地构造、矿产等图件,各省、自治区区域地质志和国内外数百篇(部)有关中国大地构造的研究文章与专著。

2.3 时空分析

大量同位素年代学研究显示[15~18],中国金矿主要形成于中生代,Zhu(1998)[19]和毛景文、王志良(2000)[20]对此做了总结。笔者依据所建金矿数据库,对 246 个有可靠年龄数据或成矿期上下限的金矿(涉及 88 件文献,限于篇幅从略)进行时间分析,进一步定量地确定侏罗—白垩纪为中国金矿成矿主期。这 246 个金矿金金属储量为 3 522.4 t,占总储量的 44.7%,其中侏罗和白垩纪所形成金矿金储量为 698.5 t 和 1 472.1 t,分别占其金矿金总储量的 20.8%和 43.8%,而新生代所成金矿金储量仅占 7.9%(280 t),除台湾金瓜石金矿外其他新生代金矿均为第三纪(中国金矿成矿时代研究另文专述)。上述研究表明,中国原生金矿总体较砂金矿形成时间早,因而在时间上有为后者提供物质来源的可能。

在时间分析基础上,笔者将金矿数据库与 ArcView 连接,对原生金矿、砂金矿做空间分析,确定砂金矿密集区大地构造与地质背景,研究区域成矿规律。图 2 给出砂金矿 100 km 缓冲域(buffer zone)内原生金矿的产出情况及每 10 km 缓冲域中的具体细节。为保证结果的客观性及可利用性,笔者同样研究了原生金矿 100 km 缓冲域内砂金矿的分布情况,从而排除下述可能:少量砂金矿零散分布于原生金矿主要成矿省内,导致砂金矿一定范围内原生金矿的数量骤增,大多数砂金矿与原生金矿在空间上并不存在密切相关关系。

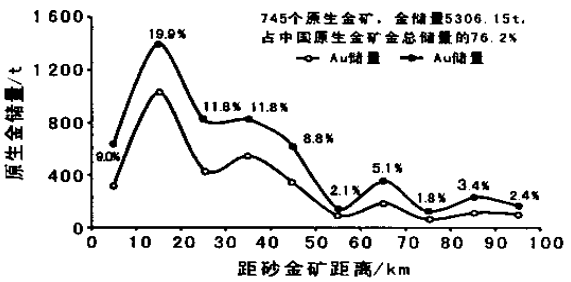


图 2 中国砂金矿缓冲域中原生金矿金储量的变化

Fig.2 Buffer zones of gold placers v. gold reserves of primary gold deposits of China

圈定 24 个砂金矿较为集中区域见图 1,以区内边缘分布砂金矿外推 100 km 做为区域边界,量化分析每一区域内原生金矿与砂金矿的关系(表 2),通过公式计算原生金-砂金指数 G 和该区域内可能存在的未知原生金矿金储量 P:

$$G = (N - R)/N, P = r_1 N - r_2$$

3 GIS 研究结果

如图 2 所示,中国 76.2%的已知原生金矿金储量分布在已知砂金矿 100 km 范围内,而砂金矿 0~40 km 内拥有超过半数的已知原生金矿金储量(52.5%),在砂金矿 0~60 km 缓冲域中原生金矿金储量随着向砂金矿的距离减小迅速增加,从宏观上显示原生金是砂金的重要物质来源。深入分析表明,出现在砂金矿 0~25 km 内原生金矿金储量为 36.2%,故这一范围是寻找原生金矿的重要地带;仅有 3%的原生金矿金储量产出在砂金矿 0~5 km

① Zhou, J. Tectonics and Gold Deposits of China. Ph.D. Thesis. University of New England, Australia, 1999. 591.

万方数据

内,说明就总体而言原生金矿主要为 5～25 km 内砂金矿提供成矿物质。换言之,原生金矿 0～5 km 内相对不利于形成砂金,这可能反映冲积成因砂金形成过程中某些未知的机制。

为了确认中国砂金矿与原生金矿在空间上的相关关系,笔者又专门对原生金矿进行了缓冲域分析。结果表明,83%的已知砂金矿金储量分布于原生金矿 100 km 内,其中原生金矿 0～20 km 和 0～40 km 缓冲域中砂金矿金储量分别为 24.1% 和 52.7%。已知砂金矿与已知原生金矿这种密切的空间关系清楚指示前者依赖后者的成因联系,因而可以合理地将其推广到二者尚未发现的部分,当做一个宏观线索在找矿勘探中加以考虑。

中国原生金矿和砂金矿金储量的比值为 7.59,与砂金矿 0～40 km 缓冲域中原生金矿和砂金矿金储量的比值相近(7.57),砂金矿 0～20 km 和 0～100 km 缓冲域中比值分别为 9.10 与 6.98,指示向砂金矿靠近原生金矿金储量迅速增加,且砂金矿 40 km 距离为一转折点(上升),另一重要转折点(下降)为其 10 km 距离(图 2)。

表 2 给出 24 个砂金矿较为集中区域的‘原生金－砂金指数”(G)与可能的未知原生金矿金储量(P)。阿尔金、柴达木、松潘Ⅱ等区域有较高的 G 值,其中松潘Ⅱ P 值也较高,但前两区域很小,已知金矿资源太少。尽管额尔古纳与佳木斯区 G 值和 P 值均较高,但对找矿指导意义有限,因二者邻近俄罗斯,众多砂金可归于邻国未知原生金矿。如果将表 2 中 G 值、P 值和区域地质背景结合起来考虑,笔者认为秦岭与松潘Ⅰ区为重要找矿远景区,其次为松潘Ⅱ和拉萨。

4　远景区地质背景分析

图 1 中的秦岭区根据砂金矿与原生金矿的集中程度确定,事实上仅具空间意义,因为地理上该区中部有东西绵延的秦岭山脊,是一个重要分水岭,将该区实际分为南北两区,而砂金矿却主要集中在南区。显然,如果独立考虑,南区的 G 值和 P 值会更高。重要的是,大地构造上南区包括秦岭缝合带西段和松潘－甘孜地块东北角,有石炭—三叠纪蛇绿杂岩[21～23]、三叠纪浊积扇[24,25]和大量花岗岩[26],晚三叠纪经历大规模地壳缩短与推覆[27,28],是一个构造活动区。广泛发育的中三叠统碳质板岩为区内重要容矿地层,已知有东北寨(> 40 t)等一些大型金矿[29]。区内还存在许多重砂(金、辰砂、雄黄、方铅矿等)与化探(Au、Hg、As、Sb)异常[30],应进一步深入研究原生金与砂金的内在关系,与其他线索结合起来指导找矿。

松潘Ⅰ、Ⅱ区主要位于松潘－甘孜地块,同样具秦岭南区的上述地质经历[31]并广泛发育中三叠统碳质板岩[32]。此外,与金沙江缝合带有关的义敦岛弧、甘孜－理塘弧后盆地也部分落入这两个砂矿集中区(尤其是松潘Ⅰ区)中[32,33]。义敦岛弧以大规模三叠纪中基性火山喷发和中酸性岩浆侵入为特征[32],已知有与火山岩相关的呷村 Pb-Zn-Cu-Ag-Au 矿(Au 13.9 t)[34,35],中三叠统玄武岩中 Cu、Au 元素相对富集[34],与印度－西藏碰撞有关的喜马拉雅成矿期也波及这里。松潘Ⅰ区中金沙江缝合带西侧的玉龙(Au 28.6 t)、多霞松多(Au 13.3 t)等斑岩型 Cu-Au 矿即为第三纪[36]。松潘Ⅰ区中地质构造复杂,涉及多种大地构造背景,研究程度相对较低,已知金矿(点)数量与类型却较多[37,38],除上面提到的外,尚有以碳酸盐岩为围岩的金矿(如耳泽、偏岩子)[38,39]和以元古代中酸性侵入岩为围岩的金矿(如黄金坪、白金台子)[39,40]。仅川西白玉－木里一带就有百余处金重砂与化探异常,砂金中大量的块金(有的重达数千克)也暗示区内有丰富的金质来源[38]。因砂金的形成主要与地貌、水动力条件、物质来源有关,所以应单纯从这一角度研究寻找原生金矿的方法,做为传统上较多考虑大地构造与地质背景进行成矿预测的补充。

图 1 中拉萨区很小,但位于冈底斯火山弧上[41,42]。它东西走向,长约 2 000 km,宽 250 km,与印度河－雅鲁藏布江缝合带平行展布,主要为岛弧成因。冈底斯火山弧由白垩纪—第三纪基性、中性、酸性火山岩和火山碎屑岩及花岗岩类组成[21,43],与大量晚古生代碳酸盐岩伴生[43],广泛具备形成斑岩型、矽卡岩型矿床的基本条件。目前仅知花岗岩围岩的娘姑处金矿(4 t)、甲马赤康伴生金(Pb,Zn)矿(Au 1.3 t)与 3 处砂金矿①,显然和工作程度较低有关,但这一火山弧巨大的成矿潜力与找矿前景不容忽视。

① 国家黄金管理局及武警黄金地质研究所编. 中华人民共和国黄金矿产图集. 1992.

万方数据

5 宏观研究中的重要启示

综上所述,中国已知砂金矿主要形成于第四纪,而原生金矿金储量则多形成在晚中生代(依据数据库:显生宙 91.0%,元古生代 5.7%,太古代3.2%)。这些特征和世界主要产金国澳大利亚不同,澳大利亚砂金约占产金总量的 25.2%,截止 20 世纪 80 年代末不同时代金储量的比例为:显生宙35.0%,元古代 9.3%,太古代 55.7%;与同期金产量的比例接近:显生宙 45.3%,元古代 8.1%,太古代 46.6%[12]。此外,澳大利亚有大量古砂金矿,据 1996 年统计仅 Victoria 金矿省就已产出 300 t 古砂金[11]。

澳大利亚金矿主要分布于西部 Yilgarn 地块和东南部 Victoria 省 Lachlan 褶皱带。前者为世界著名的太古代中深变质岩带或所谓"绿岩带"[44],太古代之后基本处于稳定状态[45],所产金矿形成于新太古代或称太古岩金(Archaean lode)[45,46];后者以古生代半远洋-深海复理石(hemipelagicabyssal flysch)沉积为特点[47],泥盆纪发生造山并伴随大规模酸性火山熔岩喷发和花岗岩侵入,岩层普遍发生浅变质[47,48],有关金矿为晚古生代"板岩带金矿"(slate belt)或"以浊积岩为围岩的金矿"(turbidite-hosted)[49,50]。这两类金矿目前均被一些研究者归类为"造山带金矿"(orogenic gold deposits)[51]。中国金矿主要产于东部地区,尽管围岩条件种类较多,但大地构造与欧亚大陆边缘演化[19]或太平洋板块向欧亚板块下方消减有关,以侏罗-白垩纪成矿为主。中国中生代与新生代所形成金占总储量的77.3%,原生金矿总体年龄较轻可能是砂金矿数量较少且缺乏古砂金矿的一个主要原因,即形成砂金矿的时间域较小,没有足够数量的砂金以及砂金形成的时间较新就必然大大减少产生由正常砂金经改造而成的古砂金矿的机会。

更为重要的是,中国东部发育大量中新生代盆地,以地壳大范围减薄为特征,地壳厚度从西藏的70~80 km 向东逐步变薄,在东部沿海仅为 28~36 km[52,53],这一大区域性拉伸的高峰期为第三纪,因渤海的第三纪沉积物尚属陆相[54]且日本海在第三纪开张[55]。这表明中国东部的大规模地壳减薄实际发生在大部分原生金矿形成之后,从而暗示许多原生金矿形成后可能被覆盖或矿床总体露头不好。上述分析结果提示在中国东部寻找原生金矿时要充分考虑埋深问题,同时间接指示中国砂金矿较少的另一个可能的相关因素,即形成砂金矿的矿源域较窄,显然只有被剥蚀出露地表的那部分原生金矿才能为砂金矿提供矿质。当然,中国原生金矿总体年龄较轻,本身就意味着被剥露地表的几率相对较小,Goldfarb 等[56](2001)推测造山带成因的原生金矿由形成深度到被剥露至地表一般至少需要 50 Ma,所以上述"矿源域较窄"的本质仍然是"时间域较小"。事实上,中国和澳大利亚在砂矿资源上的差异一定受诸多内在因素(包括地形地貌差异)控制,应进一步加强探索。

6 结论

(1)中国原生金矿与砂金矿存在密切空间关系,前者从宏观上显示为后者提供物质来源。GIS 分析表明,在砂金矿 0~60 km 缓冲域中原生金矿金储量随着向砂金矿逼近迅速增加,0~40 km 缓冲域中原生金矿金储量(52.5%)过半,0~25 km 缓冲域内原生金矿金储量为 36.2%,而 0~5 km 缓冲域中仅有 3%,暗示原生金矿主要为 5~25 km 内砂金矿提供矿质,虽然具体机制尚有待研究,但这一规律应在找矿勘探中当做一个宏观线索加以考虑。

(2)中国已知砂金矿金储量明显少于澳大利亚砂金矿金储量,这主要和中国原生金矿较年轻(主要形成在中生代)而澳大利亚原生金矿较古老(主要形成在太古代和古生代)有关,即中国砂金矿形成的时间域与矿源域均较窄;换言之,年龄较轻的原生金矿被剥露出地表从而为砂金矿提供矿源的概率相对较小,而年龄本身又界定了其作为砂金矿矿源的时间下限。此外,中国东部中新生代(尤其第三纪)大规模地壳减薄或拉伸作用使晚中生代形成原生金矿被掩埋的几率增大,导致形成砂金矿的矿源域进一步受限,可能是中国砂金矿较少的另一层原因。中国缺乏古砂金矿间接证实上述两推测,中国东部原生金矿的埋深问题应在找矿勘探中予以注意。

(3)采用两个公式 $G=(N-R)/N$ 与 $P=r_1N-r_2$ 初步评价中国 24 个砂金矿较为集中的区域,根据 G 值和 P 值并结合地质背景分析,笔者认为西秦岭、松潘-甘孜地块和拉萨附近为重要找矿远景区,依据砂金线索应加强寻找原生金的研究。

万方数据

[参 考 文 献]

[1] 周军,王腾军. 世界金矿探采与黄金价格百年走势[J]. 国土资源与环境,2000(1):24~27.

[2] 周军,梁云. 信息技术时代的黄金市场与金矿业浅析[J]. 黄金,2002,23(2):53~56.

[3] 周军,刘建朝,王瑞腾,等. 胶东金矿省成矿作用初析[J]. 西安工程学院学报,2001,23(3):1~9.

[4] 吕英杰,马大明,金洪涛. 中国砂金矿的分布规律及其找矿方向(中华人民共和国地质矿产部地质专报·四、矿床与矿产,第26号)[M]. 北京:地质出版社,1992. 1~101.

[5] 陈纪明. 中国砂金矿图说明书[R]. 河北廊坊:国家黄金管理局及武警黄金地质研究所,1993.

[6] 中国矿床编辑委员会. 中国矿床Ⅱ[M]. 北京:地质出版社,1994. 189~265.

[7] Cox D P,Singer D A. Mineral Deposits Models [M]. U.S. Geological Survey Bulletin, 1986, 1693:239~243.

[8] Singer D A. Development of grade and tonnage models for different deposits types [A]. In:Kirkham R V, Sinclair W D, Thorp R I et al. Mineral Deposit Modeling [C]. Geological Association of Canada Special, 1997,Paper 40:21~30.

[9] Zhou J, Flood P G and Li W. Gold grade and tonnage models of the gold deposits, China [J]. Resource Geology, 2000, 50:53~64.

[10] Singer D A. World class base and precious metal deposits a quantitative analysis [J]. Econ. Geol., 1995, 90:88~104.

[11] Phillips G N, Hughes M J. The geology and gold deposits of the Victorian gold province [J]. Ore Geology Reviews, 1996, 11:255~302.

[12] Woodall R. Gold in Australia [A]. In:Hughes F E. Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea Volume I [C]. Australian Institute of Mining and Metallurgy, Parkville, 1990. 45~67.

[13] 吕英杰,邵晓东,马大明,等. 中国砂金矿的分布、成因类型及"金三角"地区砂金矿矿质来源的研究[A]. 见:沈阳地质矿产研究所. 中国金矿主要类型找矿方向与找矿方法文集Ⅰ[C]. 北京:地质出版社,1994. 1~34.

[14] 苏小四. 河流沉积砂金矿成因模型[A]. 见:张贻侠,寸王洼,刘连登,等. 中国金矿床——进展与思考[C]. 北京:地质出版社,1996. 86~95.

[15] 罗铭玖,王亨治,庞传安,等. 河南金矿概论[R]. 郑州:河南省地质矿产厅,1991. 137~168.

[16] 陈好寿,周肃,魏琳,等. 成矿作用年代学及同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社,1994. 242.

[17] 王义文. 中国金矿床成矿时代[A]. 见:张贻侠,寸王洼,刘连登,等. 中国金矿床——进展与思考[C]. 北京:地质出版社,1996. 137~153.

[18] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13:275~291.

[19] Zhu J. Mesozoic granitoid types and metallogeny of the East China Circum-Pacific continental margin [J]. Resource Geology, 1998, 48:265~272.

[20] 毛景文,王志良. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质,2000,19(4):289~296.

[21] 中国地质科学院成都地质矿产研究所. 青藏高原及邻区地质图(1:1 500 000,附说明书)[M]. 北京:地质出版社,1988. 60.

[22] Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China blocks:controversy and reconciliation [J]. Geology, 1999, 27:123~126.

[23] Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China [J]. Tectonophysics, 2000, 323:183~196.

[24] Nie S, Yin A, Rowley D B et al. Exhumation of the Dabie Shan ultra-high-pressure rocks and accumulation of Songpan-Ganzi flysch sequence, central China [J]. Geology, 1994, 22:999~1002.

[25] Yin A, Nie S. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighbouring regions [A]. In:Yin A, Harrison M. The Tectonic Evolution of Asia [C]. Cambridge University Press, Cambridge, 1996. 442~485.

[26] 李先梓,严阵,卢欣祥. 秦岭—大别山花岗岩[M]. 北京:地质出版社,1993. 11~32,66~74.

[27] Mattauer M, Malavieille J, Calassou S, et al. The Songpan-Garze Triassic belt of west Sechuan and eastern Tibet:a decollement fold belt on passive margin [J]. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 314, Série Ⅱ, 1992. 619~626.

[28] Chen S F, Wilson C J L. Emplacement of the Longmen Shan thrust-nappe belt along the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Journal of Structural Geology, 1996, 18:413~430.

[29] 李小壮. 四川省东北寨金矿床[A]. 见:寸王洼,陈纪明. 中国典型金矿床[C]. 北京:地质出版社,1995. 431~439.

[30] 尚瑞钧,李和详,晁援. 秦巴金矿地质[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1992. 34~43, 203~204, 220~225.

[31] Chang E Z. Geology and tectonics of the Songpan-Ganzi Fold Belt, southwestern China [J]. International Geology Review, 2000, 42:813~831.

[32] 范承钧,王忠实. 松潘-甘孜活动带[A]. 见:程裕淇. 中国区域地质概论[C]. 北京:地质出版社,1994. 292~304.

[33] Luo Z L, Jin Y Z, Zhao X K. The Emei taphrogenesis of the upper Yangtze Platform in south China [J]. Geol. Mag., 1990, 127:393~405.

[34] 叶庆同,胡云中,杨岳清,等. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京:地质出版社,1992. 26~29, 144~173.

[35] Sun H T. A general review of volcanogenic massive sulphide deposits in China [J]. Ore geology Reviews, 1992, 7:43~71.

[36] 陈福忠,刘朝基,雍永源,等. 藏东花岗岩类及铜锡金成矿作用[M]. 北京:地质出版社,1994. 80~179.

[37] Wang X C, Zhang Z R. Types and distribution of endogenic gold deposits in western Sichuan, China [J]. International Geology Review, 1999, 41:1099~1113.

[38] 杨岳清,胡云中,邓坚,等. 川西白玉—木里岩金成矿条件及成矿规律[A]. 见:沈阳地质矿产研究所. 中国金矿主要类型找矿方向与找矿方法文集Ⅱ[C]. 北京:地质出版社,1994. 45~105.

[39] 栾世伟,胡正纲,王振荣,等. 康定—攀枝花地区区域金矿化特征[A]. 见:沈阳地质矿产所. 中国金矿主要类型找矿方向与找矿方法文集Ⅰ[C]. 北京:地质出版社,1994. 193~224.

万方数据

[40] 陈智梁,刘宇平,魏少青,等. 康定大渡河两岸主要金矿区矿田构造研究[M]. 北京 地质出版社,1997. 19～45.

[41] Virdi N S. Northern margin of the Indian Plate-some litho-tectonic constraints [J]. Tectonophysics, 1987, 134:29～38.

[42] 范承钧,马冠卿,王忠实. 川滇青藏地区区域地质特征[A]. 见 程裕淇. 中国区域地质概论[C]. 北京:地质出版社, 1994. 239～280.

[43] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993. 14～463, 562～568.

[44] Groves D I. The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia [J]. Mineral. Deposita, 1993, 28:366～374.

[45] Groves D I, Ho S E, McNaughton N J, et al. Genetic models for Archaean lode-gold deposits in Western Australia [A]. In:Ho S E, Groves D I. Advances in Understanding Precambrian Gold Deposits, Vol. II [C]. Geol. Dept. and Univ. Extension, Univ. West. Aust. Publ., 1988, 12:1～22.

[46] Kent A J R, McDougall I. ^{40}Ar-^{39}Ar and U-Pb age constraints on the timing of gold mineralization in the Kalgoorlie gold field, Western Australia [J]. Economic Geology, 1995, 90:845～859.

[47] Cas R. Palaeogeographic and Tectonic Development of the Lachlan Fold Belt Southeastern Australia [M]. Special Publication No. 10, Geological Society of Australia, Inc., 1983. 60.

[48] Cox S F, Wall V J, Etheridge M A et al. Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted gold deposits-examples from the Lachlan fold belt in central Victoria, Australia [J]. Ore Geology Reviews, 1991, 6:391～423.

[49] Forde A. The late orogenic timing of mineralization in some slate belt gold deposits, Victoria, Australia [J]. Mineral. Deposita, 1991, 26:257～266.

[50] Boyle R W. Gold deposits in turbidite sequences:their geology, geochemistry, and history of the theories of their origin [A]. In:Keppie J D, Boyle R W and Hayness S J. Turbidite-hosted Gold Deposits [C]. Newfoundland, Geological Association of Canada, 1986. 1～13.

[51] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. Orogenic gold deposits:a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposits types [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13:7～27.

[52] Zhang Z M, Liou J G, Coleman R G. An outline of the tectonics of China [J]. Geological Society of America Bulletin 95, 1984. 295～312.

[53] 范承钧,杨明桂. 中国基本构造格局及其演化[A]. 见 程裕淇. 中国区域地质概论[C]. 北京 地质出版社,1994. 448～474.

[54] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京 地图出版社,1985. 150.

[55] Otofuji Y, Matsuda T, Nohda S. Opening mode of the Japan sea inferred from the palaeomagnetism of the Japan Arc [J]. Nature, 1985, 317:603～604.

[56] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time:a global synthesis [J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18:1～75.

APPLICATION OF GIS TO TEMPORAL AND SPATIAL ANALYSES OF PRIMARY AND PLACER GOLD DEPOSITS OF CHINA

ZHOU Jun[1], GAO Feng-liang[1], SHEN Shan-ping[2]

(1. *School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*; 2. *Xinxing Northwestern Branch of SINOPEC CORP, Ürümqi* 830011, *China*)

Abstract: Gold databases of China, including 1,500 gold deposits, were built under ACCESS and nation-wide map layers with their attribute tables, concerning the tectonic framework, stratigraphy and igneous rocks, were also created under ARCINFO and ARCVIEW on the basis of nearly a thousand of references. The temporal analysis shows that Chinese gold placers were formed in the Quaternary whereas lode gold reserves are mainly of Jurassic-Cretaceous age, forming 64.6% of the national total (based on 246 Au-only and associated lode Au deposits with available age data). The spatial analysis reveals that 52.5% of lode gold reserves of the national total (ca 1,000 Au deposits) are distributed within the 0～40km buffer zone of gold placers and those in the 5～25km buffer zone amount to 33.2%, indicating that in general lode gold deposits principally provided gold for placers within their 5～25km distance. The total placer gold reserves of China (around 500 placer deposits) amount to 916.9 t (contributing 11.6% of the total Au reserves from both lode and placer deposits) and are notably less than that of Australia (25.2%), which is inferentially ascribed to that Australian lode gold deposits are primarily of Archaean and Palaeozoic age and eastern China, as a major gold producer, experienced large-scale crust thinning in the Mesozoic and Cenozoic (particularly in Tertiary) after the Jurassic-Cretaceous gold veining peak. The 5～25 km buffer zone of gold placers and possible deeper buried depth of lode gold deposits as a whole in eastern China should be macroscopically considered in the gold exploration though why there are less lode gold reserves in the 0～5km buffer zone of placers is still uncertain. Through quantitatively evaluating and geological setting analyzing of 24 gold placer concentration areas in China Western Qinling, the Songpan-Ganzi Block and the Lhasa Region are selected as a prospecting area for further studies of gold placers in order to locate unknown lode gold resources there.

Key words: primary gold deposits; gold placers; buffer zone; China; Qinling; Songpan-Ganzi

万方数据