



引文格式: 张家瑞, 高永伟, 张忠平, 等. 甘肃西秦岭地区重要金矿预测模型的建立及资源潜力预测[J]. 西北地质, 2024, 57(5): 88–105. DOI: 10.12401/j.nwg.2024053

Citation: ZHANG Jiarui, GAO Yongwei, ZHANG Zhongping, et al. Building a Prediction Model for Resource Potential Forecast of Principal Gold Deposits in West Qinling Mountains of Gansu Province[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(5): 88–105. DOI: 10.12401/j.nwg.2024053

甘肃西秦岭地区重要金矿预测模型的建立及资源潜力预测

张家瑞¹, 高永伟¹, 张忠平¹, 谢建强², 杨彦^{3,*}, 余超¹, 余君鹏¹,
李通国¹, 贾志磊⁴, 王晓伟¹

(1. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730030; 2. 甘肃省自然资源厅, 甘肃 兰州 730030; 3. 甘肃省矿产资源储量评审中心, 甘肃 兰州 730030; 4. 甘肃省地质矿产勘查开发局, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 为满足当前形势下甘肃西秦岭地区金矿勘查开发与战略部署的要求, 在甘肃省金矿资源潜力动态评价成果的基础上, 总结了甘肃西秦岭地区金矿资源特征、预测模型及资源潜力, 初步提出西秦岭地区金矿勘查工作部署建议。西秦岭岩金矿产地有 223 处, 燕山期为主要成矿期。分布于甘肃南部的陇南、天水、甘南地区, 矿床类型以岩浆热液型、浅成中-低温热液型矿床为主, 在此基础上, 修正了李坝、大桥、阳山典型矿床预测模型, 建立了早子沟、加甘滩、寨上、小东沟等 4 个典型矿床预测模型。采用矿床模型综合地质信息预测方法, 应用 MRAS 软件, 圈定预测区 179 处, 运用体积法, 估算金矿预测量 3 512.107 t。相较于甘肃省矿产资源潜力评价成果(2013 年), 预测区增加了 18 处, 预测量增加了 461.03 t, 新增主要分布于以地南、小东沟-天子坪一带等重点找矿地段, 预测成果将为甘肃西秦岭地区金矿勘查工作部署提供科学依据。

关键词: 金矿; 资源特征; 预测要素; 预测模型; 资源潜力; 甘肃西秦岭

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)05-0088-18

Building a Prediction Model for Resource Potential Forecast of Principal Gold Deposits in West Qinling Mountains of Gansu Province

ZHANG Jiarui¹, GAO Yongwei¹, ZHANG Zhongping¹, XIE Jianqiang², YANG Yan^{3,*}, YU Chao¹,
YU Junpeng¹, LI Tongguo¹, JIA Zhilei⁴, WANG Xiaowei¹

(1. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730030, Gansu, China; 2. Department of Natural Resources of Gansu Province, Lanzhou 730030, Gansu, China; 3. Mineral Resources and Reserves Evaluation Center of Gansu Province, Lanzhou 730030, Gansu, China; 4. Gansu Province Bureau of Geological and Mineral Exploration & Development, Lanzhou 730030, Gansu, China)

收稿日期: 2023-03-07; 修回日期: 2024-04-07; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 甘肃省自然资源厅“甘肃省基础地质项目成果集成与动态管理服务(2021184)”、“西秦岭地区地质大数据找矿靶区定量预测研究(202202)”, 甘肃省地质矿产勘查开发局“甘肃省西秦岭东段金矿大数据找矿靶区定量预测研究(2022CX18)”联合资助。

作者简介: 张家瑞(1990-), 男, 工程师, 主要从事矿床学, 矿产勘查与矿产预测研究。E-mail: 1213911475@qq.com。

*通讯作者: 杨彦(1974-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产资源储量评审工作。E-mail: lzwy1018@126.com。

Abstract: In order to meet the requirements of exploration, development and strategic deployment of gold deposits in West Qinling Mountains of Gansu Province under the current situation, from a dynamic analysis of gold deposit potential in Gansu Province, a prediction model for resource potential forecast is introduced to meet the requirements of exploration, development and strategic deployment of gold deposits under the current trend. Characteristics, relevant suggestions on geological exploration and deployment of gold deposits are also preliminarily put forward. There are 223 rock gold deposits in West Qinling Mountains, and Yanshanian is the main ore-forming period, mainly distributed in Longnan, Tianshui and Gannan areas in southern Gansu Province. The deposit types are mainly magmatic hydrothermal type and epithermal medium-low temperature hydrothermal type. Based on this, the prediction model of Liba, Daqiao and Yangshan typical deposits is modified. Four typical ore deposit prediction models have been established, including Zaozigou, Jiagantan, Zhaishang and Xiaodong. By using the comprehensive geological information prediction method of deposit model and MRAS software, 179 prediction areas were delineated, and the predicted gold amount of 3 512.107 tons was estimated by volume method. Compared with the evaluation result of mineral resource potential in Gansu Province (2013), the number of predicted mineral resources increased by 18, and the predicted amount increased by 461.03 tons. The newly added mineral resources were mainly distributed in the key prospecting areas such as Yidinan area and Xiaodong Guo-Tianziping area. The prediction results will provide a scientific basis for the gold exploration in West Qinling Mountains of Gansu Province.

Keywords: gold mine; resource characteristics; predicting elements; prediction model; resource potential; West Qinling mountains of Gansu province

金矿作为中国重要战略性矿产资源,对国民经济持续健康发展具有重要作用。据统计,甘肃省黄金资源储量稳居全国第二位,金矿已然成为甘肃省战略性优势矿产之一。甘肃省中型以上岩金矿床有三分之一产自西秦岭地区,是其主要的金矿床集中区,在一定程度上,保障了甘肃省乃至全国的黄金储备需求。

近十年来,甘肃省西秦岭地区金矿找矿勘查取得的成果颇丰,李坝、大桥、早子沟、加甘滩、寨上、小东沟、猪婆沟等金矿的新进展(刘月高等, 2011; 刘勇等, 2012; 隋吉祥等, 2013; 徐东等, 2014; 袁得祎等, 2015; 田向盛等, 2016; 陈国忠等, 2017; 梁志录等, 2017; 滕飞等, 2018; 郝迪等, 2021; 薛仲凯等, 2021; 焦阳等, 2024),也支撑着西秦岭地区金矿找矿勘查方向的转变。虽然“全国矿产资源潜力评价(2006~2013)”取得了丰硕的成果,但在当前形势下,金矿勘查开发与战略部署的新要求已经不能完全满足。在此背景下,笔者开展了“甘肃省紧缺战略性矿产资源潜力评价”,聚焦重大找矿进展,结合技术经济、生态环境、产业政策等因素的变化情况,动态评价已有成果,更新潜在矿产资源数据,优化调整重要预测区。在“1+2+2+2”全省矿产资源勘查开发政策体系指导下,以甘肃省西秦岭地区金矿资源潜力动态评价成果为

基础,部署金矿勘查工作,有望在“十四五”时期,开创西秦岭金矿勘查的新局面。

1 区域金矿概况

甘肃省西秦岭地区位于甘肃省南部,属秦岭造山带通渭-武都SN向隐伏断裂以西的部分,经历了长期而复杂的地质构造演化,地质构造复杂,境内成矿地质条件良好,蕴藏着较为丰富的金矿资源,不但类型多样,而且组分复杂,规模各异,形成了众多不同背景、不同类型、不同特征、不同规模的金矿床(丁仁平, 2017)。

1.1 金矿产地数量及规模

截至2020年底,甘肃西秦岭相继发现及勘查岩金矿产地223处,其中超大型4处、大型6处、中型21处、小型96处、矿点96处。砂金矿产地22处,其中大型1处,中型3处,小型9处,矿点9处(图1)。

1.2 金矿床(预测)类型及简要特征

根据“矿产资源国情调查技术要求”重新厘定了甘肃金矿矿床类型,西秦岭地区产出的金矿,主要为接触交代型(矽卡岩型)、岩浆热液型、海相火山岩型、受变质型、浅成中-低温热液型、砂矿型等6类矿床类型(表1),其中最主要的为岩浆热液型和浅成中-低温

构造蚀变岩型及岩浆热液脉型矿床。

构造蚀变岩型金矿与岩浆期后中-低温热液成矿作用有关的受韧性剪切带控制的含金糜棱岩、受断裂破碎带控制的含金蚀变碎裂岩、角砾岩和与岩浆热液渗流热卤水交代-充填成矿作用有关的受断裂破碎带及各种节理、裂隙构造控制的含金蚀变板岩、变砂岩等统归入本类型。代表性矿床有早子沟金矿、大桥金矿、以地南金矿、阳山金矿、大水金矿;岩浆热液脉型金矿床与岩浆期后热液交代-充填作用有关的以石英脉型为主,辅以蚀变岩型金矿归入此类型。含金石英脉的产出严格受次级断裂控制,矿体与围岩界线不明显。金矿石为沿断裂充填的含金石英脉和边部的蚀变岩。代表性矿床有李坝金矿;邻区代表性矿床有陕西桐峪金矿、河南文峪金矿。

(2)浅成中-低温热液型矿床,主要产于各类地层及构造中与岩浆作用、变质作用无关的流体成矿,或与岩浆作用、变质作用尚无明显直接成因联系的似层状、顺层状或受构造控制的脉状、囊状热液型矿床,目前尚成因不明或颇具争议的矿床等划归于浅成(中)低温热液型矿床,具其特点划分为层控-热液型、构造-热液型、成因不明型等3类。

层控-热液型主要产于特定地层中,与岩浆活动无直接关系的似层状、顺层状热液矿床称之为层控-热液型矿床。代表性矿床有拉尔玛金矿。

构造-热液型是产于断层、裂隙等中受构造控制与岩浆活动无关的脉状、囊状热液型矿床,代表性矿床有加甘滩金矿、坪定金矿。

1.3 时空分布特征

在时间分布上,甘肃省西秦岭金矿床主要形成于侏罗纪、三叠纪,各时代查明金资源量统计表明,侏罗纪查明金资源量最多,占全省的65.7%,次为三叠纪,占全省的26.2%;石炭纪、白垩纪形成的金资源量较少,分别占西秦岭的4.55%、2.7%(图2)。

本次工作统计223个金矿床(点),燕山期形成的金矿床(点)最多,约占矿床总数的54.7%,次为印支期,约占矿床总数的34.2%,由此可以推断,燕山期成矿作用对西秦岭金矿床(点)的形成具有十分重要的、特殊的意义(图3)。

在空间分布上,西秦岭金矿床的分布受大地构造演化的控制,相对集中于甘肃陇南市、天水市、甘南州,占全省的92.44%;从Ⅳ级成矿带分析,主要分布于合作-两当成矿亚带(Ⅳ-28A①)、武山-天水成矿亚带

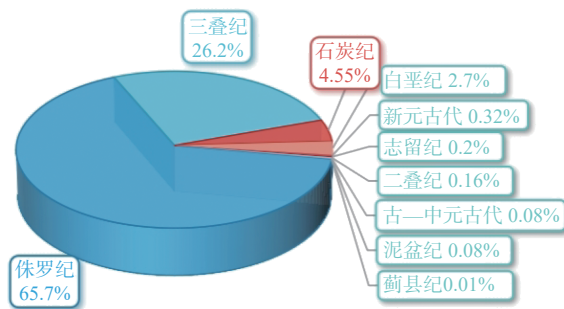


图2 甘肃省西秦岭地区金矿查明资源量按时间分布统计图

Fig. 2 Distribution of identified gold resources in West Qinling of Gansu Province

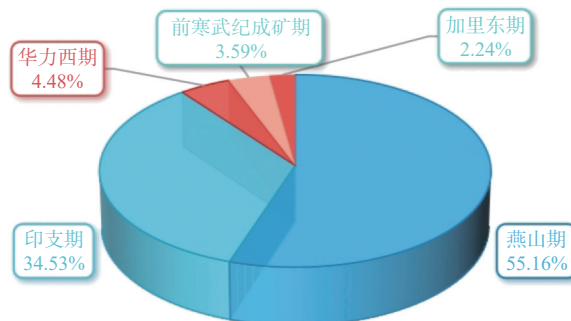


图3 甘肃省西秦岭地区金矿产地按成矿期统计图

Fig. 3 Statistical map of gold deposits in West Qinling area of Gansu Province by metallogenic period

(Ⅳ-66①)、碌曲-徽县成矿亚带(Ⅳ-28B①)、迭部-陇南成矿亚带(Ⅳ-28B②),占西秦岭地区的77.33%。(图4)

2 金矿预测模型

根据矿床地质条件,矿床(体)特征,查明资源量等信息,修订及建立预测模型,以最新的基础调查成果为数据基础,重新提取预测要素。

2.1 矿床预测模型

具有相同成矿地质背景与成矿作用、相似矿床地质特征的矿产预测类型,主要预测要素相同,在预测评价中应采用相同的预测评价模型(牛翠玮等,2018),2006~2013年甘肃省金矿潜力评价工作,在西秦岭地区选取了李坝、大桥沟、柴家庄、大水、鹿儿坝、阳山、拉尔玛、坪定、大桥、口头坝、碧口等11处作为金典型矿床研究对象,归纳矿床特征(表2),并建立了矿床预测模型。本次根据西秦岭地区重要找矿突破及勘查进展,修正了李坝、大桥、阳山典型矿床预测模型,建立了早子沟等4个典型矿床预测模型。

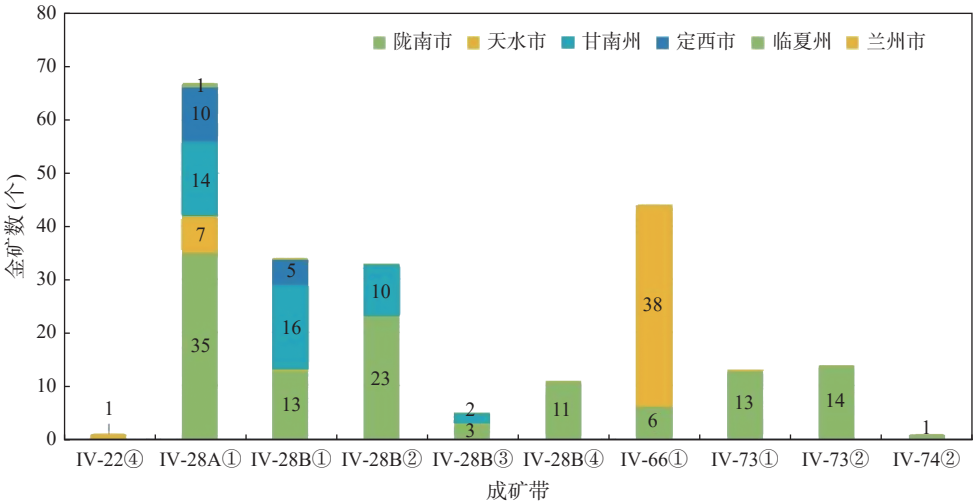


图4 甘肃省西秦岭地区金矿产地空间分布统计图

Fig. 4 Spatial distribution of gold deposits in West Qinling area of Gansu Province

表 2 甘肃省西秦岭地区金矿典型矿床特征表

Tab. 2 Characteristic table of typical gold deposits in West Qinling area of Gansu Province

矿床类型	矿床名称	构造背景	地层	侵入岩	容矿围岩	控矿构造	成矿时代
岩浆热液型矿床	柴家庄	北秦岭新元古代—早古生代造山带之北秦岭早古生代弧沟系	下古生界李子园群b组	中酸性侵入体	酸—基性“双峰式”变质火山岩(斜长角闪片岩)	受NNE向、NNW向断裂破碎带控制	印支晚期—燕山早期
	大店沟	北秦岭新元古代—早古生代造山带之北秦岭早古生代弧沟系	下古生界李子园群b组	石英闪长岩岩脉和花岗岩岩脉	含黄铁矿的石英脉、硅化碎裂绢云石英片岩	受NE向韧性剪切带控制	印支晚期—燕山早期
	李坝	中秦岭-北大别-鲁南新元古代—晚古生代裂陷大陆边缘、夏河-礼县陆缘沉积区西北缘	泥盆系舒家坝组	吴茶坝花岗岩体	绢云绿泥石板岩、变质砂岩	受NW向断裂破碎带控制	侏罗纪(171.6~173.4 Ma)
	大桥	秦岭-大别新元古代—早古生代造山带之泽库、武都裂陷沉积区	三叠系光盖山组、郭家山组	花岗闪长岩脉	硅质角砾岩	金矿体受NE向脆性断层和NW向韧性断层控制	印支期—燕山期
	阳山	南秦岭-大巴山-南大别新元古代—早中生代裂陷大陆边缘、三河口裂陷沉积区	下泥盆统桥头组	斜长花岗斑岩脉、云英斑岩脉、花岗细晶岩脉	千枚岩、灰岩、砂质板岩	受文县弧形构造控制(褶皱~断裂复合控矿)	印支期—燕山期
	大水	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之阿尼玛卿裂陷沉积区	三叠系郭家山组	花岗闪长斑岩	白云岩、粉晶质灰岩	受近EW向大断裂及NW、NE和SN向断裂构造及岩溶构造带的叠加控制	燕山期—喜山早期
受变质型矿床	口头坝	摩天岭地块之碧口古陆北缘	青白口系秧田坝岩组		含碳质砂质板岩、含碳质绢云板岩	NE向断裂破碎带	印支期—燕山期
浅成中—低温热液型矿床	鹿儿坝	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之泽库、武都裂陷沉积区	三叠系光盖山组	花岗闪长玢岩脉	长英砂岩、粉砂岩及粉砂质板岩	近EW向次级压扭性断裂	印支晚期—燕山早期
	拉尔玛	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之阿尼玛卿裂陷沉积区	下寒武统俄都组	中酸性岩脉	含硅质粉砂质板岩、含碳绢云母粉砂质板岩、炭质板岩	受背斜向西倾伏部位控制	喜山早期
	坪定	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之阿尼玛卿裂陷沉积区	中泥盆统下吾那组	花岗闪长岩脉	凝灰质板岩和含碳质钙质板岩、泥质白云质生物灰岩	近EW向断裂为容矿构造	印支晚期—燕山早期
砂矿型矿床	碧口	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之摩天岭地块南缘	第四系全新统		河床、河漫滩冲积砂、砾石		第四纪全新世

2.1.1 李坝金矿

李坝金矿是全国矿产资源潜力评价项目金矿选取的典型矿床, 累计探获金资源量 32.536 t, 为大型矿床。但是 2013 年, 通过紫金矿业集团股份有限公司编制的甘肃省礼县杜家沟矿区金矿资源储量核实报

告, 对金资源量进行了核实, 查明金资源量约 28t, 查明资源量重新进行了核实。根据李坝典型矿床成矿要素和物、化探异常特征及与已知金矿体的空间关系, 归纳总结出了该典型矿床预测要素, 并建立了典型矿床预测要素表(表 3)。

表 3 李坝岩浆热液型金矿预测要素表
Tab. 3 Prediction factors of Liba magmatic hydrothermal gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		产于吴茶坝花岗岩体外接触带泥盆系舒家坝组碎屑岩的NW向断裂破碎带中，与构造蚀变岩、热接触蚀变岩有关的岩浆热液型(热晕型)金矿						
矿床资源量		27.99(t)	资料来源	师彦明等，2013	规模	大型	平均品位	1.82(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	中秦岭-北大别-鲁南新元古-晚古生代裂陷大陆边缘、夏河-礼县陆缘沉积区西北缘						
	赋矿地层	泥盆系舒家坝组						
	控矿构造	受泥盆系舒家坝组碎屑岩与中酸性复式岩体外接触带、裂隙构造控制						
	含矿岩体	吴茶坝花岗岩体						
	成矿时代	主成矿期为燕山期 210~171.6 Ma，210 Ma		资料来源		冯建忠等，2003； 柯昌辉等，2020		
矿床特征	含矿岩石	斑点状粉砂质板岩、变石英砂岩、绢云母粉砂质板岩						
	矿体规模	矿体长约为670~1900 m，延深为40~450 m，厚度为1.49~26.70 m						
	矿体形态	似层状、似板状、脉状、透镜状						
	矿石构造	以浸染状为主，次为斑点状、环带状、脉状、网脉状、条纹状、条带状和角砾状构造						
	矿石类型	蚀变碎裂岩型和碎裂石英脉型						
	围岩蚀变	以黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化为主，其蚀变强度与矿化强度呈正比，黄铁矿化、绢云母化与金矿关系最密切						
地球物理特征	磁法	高精度磁测ΔT一般在-10~20(nT)之间，由退磁作用造成，在破碎带中一般为负异常						
	激电异常	矿体与围岩间极化效应差异显著，矿体视幅频率是围岩的2~3倍。在双频激电Fs异常区内常发现矿(化)体或断裂破碎带						
地球化学特征		矿区Au异常及Au、As、Sb、Ag、Pb综合异常发育，围绕岩体呈带状分布，规模大，具浓度分带，与金矿体、矿带吻合程度高，多由金矿体引起。一般土壤异常Au≥500×10 ⁻⁹ 地段基本直接指示了金矿(化)体的赋存位置。热释汞异常出现在断裂破碎带中，在含矿断裂中尤为明显，并与Au异常、双频激电Fs异常基本吻合，可指示矿体的赋存范围						

2.1.2 早子沟金矿

早子沟金矿位于西秦岭西段, 由甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质队于 1996 年通过检查前人开采锑矿点发现。自矿床发现以来, 在矿床的特征及成矿规律研究成果的基础上, 找矿工作向深部进军。近年来通过研究矿体侧伏规律, 结合物探和化探成果, 通过在深部找矿远景地段择优进行钻探验证, 探获多个厚度大、品位高的金矿体(梁志录等, 2017)。同时, 开展“深地资源勘查开发”项目, 取得了重大突破。在此基础上建立了典型矿床预测要素表(表 4)。化探异常特征, 清楚显示出与矿体的直接对应关系, 对找矿

具的指示意义。

2.1.3 大桥金矿

大桥金矿是全国矿产资源潜力评价项目金矿选取的典型矿床, 查明金资源量 25 t, 为大型矿床。随着近年来, 通过勘查工作, 大桥金矿外围及深部找矿取得重大进展, 查明金资源量增加到近百吨, 为超大型金矿床。根据成矿要素及地球物理、地球化学特征, 建立了典型矿床预测要素表(表 5)。

2.1.4 阳山金矿

文县阳山金矿是全国矿产资源潜力评价项目金矿选取的典型矿床, 累计探获金资源量 308 t, 为超大

表 4 早子沟岩浆热液型金矿预测要素表
Tab. 4 Prediction factors of Zaozigou magmatic hydrothermal gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		产于板岩、蚀变闪长玢岩及与板岩接触带的构造破碎带中与与岩浆热液有关的中低温热液型金矿						
矿床资源量		134.57(t)	资料来源	梁志录等， 2017	规模	超大型	平均品位	3.25(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	南秦岭-大巴山-南大别新元古—早中生代裂陷大陆边缘之泽库、武都裂陷沉积区						
	赋矿地层	三叠系隆务河组						
	控矿构造	受NE、NW、近SN向3组断裂构造控制						
	含矿岩体	蚀变闪长玢岩						
	成矿时代	三叠纪，金矿石绢云母Ar-Ar坪年龄分别为(219.4±1.1) Ma和215~230 Ma		资料来源		刘勇等，2012；隋吉祥等，2013		
矿床特征	含矿岩石	板岩、脉岩						
	矿体规模	主矿体长为460~1 240 m，最大垂深为520~1 228 m，厚度为2.24~5.56 m						
	矿体形态	不规则脉状、脉状、透镜状						
	矿石构造	星散浸染状、脉状或网脉状、细脉浸染状、块状、角砾状等构造						
	矿石类型	微细粒浸染型金矿石						
	围岩蚀变	硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、碳酸盐化、褐铁矿化						
地球物理特征	磁法	表现为强堇不大但范围较大的正异常，其与酸性侵入岩有关，出现于岩体接触带，平面上呈珠状，形态规则，强度大的往往与矿化有关						
地球化学特征	矿区一带分布1：20万、1：5万、1：1万土壤测量组合异常，指示找矿靶区和以Au、Sb为主的目标矿种，同时，组合异常呈现套合好、规模大、强度高的特点							

表 5 大桥岩浆热液型金矿预测要素表
Tab. 5 Prediction factors of Daqiao magmatic hydrothermal gold deposit

预测要素		主要内容				
特征描述		产于三叠纪硅质角砾岩中与岩浆期后热液有关的金矿				
矿床资源量		113.18(t)	规模	超大型	平均品位	1.78(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	秦岭-大别新元古—古生代造山带之泽库、武都裂陷沉积区东段				
	赋矿地层	三叠系光盖山组、郭家山组碳酸盐岩-细碎屑岩				
	控矿构造	受宽缓复式背斜构造控制				
	含矿岩体	花岗闪长岩				
	成矿时代	白垩纪早期117~123 Ma	资料来源	刘月高等，2011		
矿床特征	含矿岩石	硅质角砾岩、复成分角砾岩				
	矿体规模	AuI矿体长为930~1 780 m，最大斜深为405 m，厚度为5.31~12.16 m				
	矿体形态	似层状、板状、透镜状，少数呈分枝状，均顺层产出				
	矿石构造	浸染状、斑点状、脉状-交错脉状-网脉状、条带状、纹层状、角砾状、胶状构造				
	矿石类型	硅质角砾岩型				
	围岩蚀变	黄铁矿化、褐铁矿化、赤铁矿化、碳酸盐化、硅化、萤石化和高岭土化				
地球化学特征	沟系法土壤测量圈出以金为主的组合异常6个，元素组合Au、Hg、As、Sb、Ag。其中Au元素异常呈串珠状，东强西弱，与水系沉积物金异常特征一致。各元素异常相互套合较好，呈NE-SW向带状分布					

型矿床(齐金忠等, 2005)。但是 2016 年, 通过甘肃省地质矿产勘查开发局第一地质矿产勘查院承担的甘肃省文县安坝里金矿南矿区详查项目, 对金资源量进行了核实, 查明金资源量约 40 t, 为大型金矿床。根据阳山典型矿床成矿要素和物、化探异常、遥感影像特

征及与已知金矿体的空间关系, 建立了典型矿床预测要素表(表 6)。

2.1.5 寨上金矿

岷县寨上金矿是在陕-甘-川西北金三角范围上勘探时被发现, 全国矿产资源潜力评价项目以鹿儿坝

表 6 阳山岩浆热液型金矿预测要素表

Tab. 6 Prediction factors of Yangshan magmatic hydrothermal gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		产于下泥盆统桥头组细碎屑岩中受NE向断裂的次级破碎带控制与岩浆期后中低温热液构造蚀变岩型						
矿床资源量		39.652(t)	资料来源	王金元等，2016	规模	中型	平均品位	4.41(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	南秦岭-大巴山-南大别新元古代—早中生代裂陷大陆边缘、三河口裂陷沉积区						
	赋矿地层	下泥盆统桥头组细碎屑岩						
	控矿构造	受NE向断裂的次级破碎带控制						
	含矿岩体	斜长花岗斑岩脉						
	成矿时代	印支期—燕山期(锆石 U-Pb 年龄主要为 195.4~200.9 Ma、126.9 Ma)		资料来源		齐金忠等，2005		
矿床特征	含矿岩石	蚀变碎裂千枚岩、蚀变构造角砾岩、蚀变碎裂花岗斑岩						
	矿体规模	单矿体控制长度为 1 100 m，厚度为 2.61~17.78 m，最大斜深为 345 m						
	矿体形态	脉状、复脉、透镜状						
	矿石构造	块状构造、脉状构造、浸染状构造、角砾状构造、千枚状构造						
	矿石类型	蚀变岩型、石英脉型						
	围岩蚀变	硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化、褐铁矿化及高岭土化						
地球物理特征	电法异常	EH4电阻率试验性剖面显示电阻率值最高为 3 000 Ω·m 以上，最低电阻率小于 25 Ω·m，电阻率值一般在 100~500 Ω·m 之间。矿脉或地层破碎带一般为 400 Ω·m，显示出相对中低阻的特征						
地球化学特征	Au 单元素异常发育，具浓集中心，大多数金异常分布于岩脉或矿附近，与金矿化空间关系密切，如安坝矿段 66—7 号异常矿脉吻合程度较高							

式破碎蚀变岩型金矿预测模型在该区开展找矿预测, 通过多年研究取得较大的找矿成果, 多条工业矿体被圈出, 矿床规模为大型, 找矿突破潜力巨大。因此, 根据寨上金矿成矿要素及地球物理、地球化学特征, 建立了典型矿床预测要素表(表 7)。

2.1.6 加甘滩金矿

加甘滩金矿是近年来评价的一处超大型金矿床。全国矿产资源潜力评价项目将加甘滩按照矿点进行评价, 以鹿儿坝式破碎蚀变岩型金矿预测模型开展找矿预测。通过近年来勘查工作, 已积累了较多的成果

表 7 寨上浅成中-低温热液型金矿预测要素表

Tab. 7 Prediction factors of Zaishang medium-low temperature hydrothermal type gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		产于浅变质细碎屑岩建造中受NW向断裂破碎带和褶皱控制与浅成中-低温热液有关的金矿						
矿床资源量		20.145(t)	资料来源	杨拴海等， 2013	规模	大型	平均品位	2.56(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	秦岭-大别新元古代—古生代造山带之泽库、武都裂陷沉积区东段						
	赋矿地层	下二叠统郭家堡碎屑岩、下泥盆统安家岔组						
	控矿构造	受NW向断裂构造和褶皱构造的双重控制						
	成矿时代	燕山晚期(125.28±1.26 Ma～130.62±1.38 Ma)		资料来源	路彦明等，2006			
矿床特征	含矿岩石	碎裂岩、碎裂岩化炭质板岩、碎裂岩化粉砂质及泥质板岩、碎裂岩化灰岩、钙质板岩						
	矿体规模	主矿体长为3 400 m，最大斜深为460 m，厚度为3.01～10.04 m						
	矿体形态	脉状、似板状						
	矿石构造	似层状、网脉状、浸染状、碎裂状、细脉状构造						
	矿石类型	蚀变岩型						
	围岩蚀变	硅化、方解石化、黄铁矿化和毒砂化，次生蚀变有褐铁矿化、高岭土化						
地球物理特征	激电异常	低缓视极化异常区						
地球化学特征	矿(化)体中的Hg、As、Sb、Pb、Zn等微量元素值明显高于上地壳及区域岩石。Hg、Sb、As、Au、Zn为高值显著异常带，异常呈岛链状沿带展布；Mo、Cd、Ag、Ba为特别显著高值强异常带，异常连片成带分布							

资料。同时,其含矿岩石未发现石英闪长玢岩,与早子沟金矿略有差别,本次补充加甘滩金矿预测模型,共同为甘肃甘南地区金矿找矿提供重要的理论依据,典型矿床预测要素见表 8。

项目开展时,小东沟主要作为沉积改造型铅锌矿的伴生矿种进行预测,因此选择该矿为典型矿床。根据小东沟金矿成矿要素及地球物理、地球化学特征,建立了典型矿床预测要素表(表 9)。

2.1.7 小东沟金矿

小东沟金矿位于合作-两当铅-锌-铜(铁)-金-汞-锑-银-钼-钨-锡-硅灰石-石灰岩成矿亚带,该矿床为该成矿带最具代表性的矿床。全国矿产资源潜力评价

3 甘肃省金矿资源潜力

预测工作采用矿床模型综合地质信息预测方法,

表 8 加甘滩浅成中-低温热液型金矿预测要素表

Tab. 8 Prediction factors of Jiagantan medium-low temperature hydrothermal type gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		产于三叠纪海相细碎屑岩砂岩板岩沉积建造所形成的断裂破碎带中与浅成中低温构造-热液有关的金矿						
矿床资源量		153.692(t)	资料来源	田向盛等，2016	规模	超大型	平均品位	2.76(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	南秦岭-大巴山-南大别新元古代—早中生代裂陷大陆边缘之泽库、武都裂陷沉积区						
	赋矿地层	三叠系隆务河组						
	控矿构造	受NW向断裂破碎带和羽状裂隙构造控制						
	成矿时代	印支晚期—燕山期						
矿床特征	含矿岩石	长石石英变砂岩、粉砂质板岩						
	矿体规模	主矿体长为530~1 480 m，最大斜深为940 m，平均厚度为6.17 m						
	矿体形态	不规则脉状、透镜状						
	矿石构造	浸染状、团块状、脉状等构造						
	矿石类型	原生矿为贫硫化物微细粒浸染型金矿石						
地球化学特征	围岩蚀变	硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、褐铁矿化、赤铁矿化、绢云母化、高岭土化、方解石化						
	1：20万区域化探在加甘滩圈出的Hs-30综合异常元素组合为Au、Ag、As、Sb、Be，Au、As、Sb，异常套合好、强度高、面积大。1：5万Au、Sb、As、Mo、W组合异常，指示找矿靶区位置和以Au、Sb为主的目标矿种；1：1万土壤测量Au、Sb、As、Hg元素组合较好，Au、Sb异常规模大、强度高							

表 9 小东沟浅成中-低温热液型金矿预测要素表

Tab. 9 Prediction factors of Xiaodonggou medium-low temperature hydrothermal type gold deposit

预测要素		主要内容						
特征描述		金矿体主要产于背斜核部安家岔组中与浅成中-低温热液有关的金矿						
矿床资源量		18.632 1(t)	资料来源	袁得祯等，2015	规模	中型	平均品位	1.99(10 ⁻⁶)
地质环境	构造背景	中秦岭新元古代—晚古生代裂陷大陆边缘，夏河-礼县陆缘沉积区						
	赋矿地层	泥盆系安家岔组						
	控矿构造	次级倒转紧闭背斜						
	成矿时代	侏罗纪						
矿床特征	含矿岩石	千枚岩、砂岩、片岩、板岩						
	矿体规模	单矿体控制长度为20～600 m，平均厚度为0.8～9.43 m，控制斜深为20～900 m						
	矿体形态	似层状、脉状						
	矿石构造	浸染状构造						
	围岩蚀变	黄铁矿化、黄铜矿化、褐铁矿化、硅化、绢云母化、碳酸盐化						
地球化学特征	矿区黄家沟组富集的元素有Au、Ag、Pb、Mn。安家岔组富集的元素有Au、Ag。各类岩石中Au元素含量由高到低的次序为千枚岩、砂岩、片岩、板岩							

以板块构造理论、成矿系列理论为指导,以物探、化探、遥感信息处理技术、计算机技术为支撑,在此基础上构建的系统的理论方法体系(叶天竺, 2013)。其优点是变量选择较方便、地质依据较充分、地质意义较明确。该预测技术方法提高了预测的地质可信度,解决了信息不对称的问题。通过收集、整理以往资料,以Ⅲ级成矿带为调查单元,提取成矿要素及物化遥数据,建立预测要素等工作流程的基础上,构建预测要素变量,并进行选择,应用 GIS 软件平台,圈定预测区,进而综合考虑预测区与生态功能区的关系、资源禀赋

及选冶进展等,将预测区优选并分级。最终运用含矿地质体体积法,对西秦岭地区金矿潜在资源进行估算。

3.1 预测方法

3.1.1 构建、选择预测要素变量

依据成矿单元地质矿产特征对甘肃西秦岭地区金矿预测要素(表 10)逐一进行了确认,进而开展预测要素变量的构置与选择。

预测要素变量,是指一些随时间和空间变化而变化的预测要素。单个变量的取舍,直接影响着矿产预

表 10 甘肃西秦岭地区金矿预测要素表

Tab. 10 Table of gold deposit prediction factors in West Qinling area of Gansu Province

典型矿床名称	预测类型	预测要素
柴家庄中型金矿	岩浆热液(脉)型	下古生界李子园群基性-酸变质火山岩和印支期二长花岗岩体外接触带; NNE向、NNW向断裂破碎带; Au、Ag、Cu、Hg组合异常
大店沟大型金矿	岩浆热液型	下古生界李子园群基性-酸变质火山岩; 中-酸性岩脉; NE向断裂破碎带; Au、Ag、Cu、Zn等元素组合异常
柳梢沟中型银多金属矿	岩浆热液(脉)型	华力西中期浅成花岗岩、花岗闪长岩, 太阳寺组变质中基-酸性火山岩, 破碎蚀变带及裂隙构造, Au、As、Ag元素组合异常
以地南大型金矿	岩浆热液型	印支期石英闪长岩、下二叠统郭家堡碎屑岩板岩、石英脉、断裂破碎蚀变带和各种裂隙构造; Au、As、Ag、Sb元素组合异常
李坝大型金矿	岩浆热液型	中酸性复式岩体外接触带与泥盆系舒家坝组碎屑岩; 裂隙构造; 磁异常; Au、As、Sb、Ag、Pb等地化异常
早子沟超大型金矿	岩浆热液型	三叠系隆务河组板岩、中酸性岩脉、断裂破碎带及裂隙构造; Au、As、Sb异常
加甘滩超大型金矿	浅成中-低温热液型	三叠系隆务河组砂板岩、断裂破碎带和羽状裂隙构造; Au、As、Sb异常
拉尔玛大型金矿	浅成中-低温热液型	下寒武统俄都组含碳碎屑岩系; 弱火山活动; 海底喷流沉积; Mo、Ag、Zn、Au、As、Hg、Cu等地化异常
坪定中型金矿	岩浆热液型	中泥盆统下吾那组变质中-酸性火山熔岩和沉积碎屑岩; 海底喷流沉积; 派生次级断裂、裂隙构造; Au、As、Hg、Sb等地化异常
通天坪中型金矿	浅成中-低温热液型	石炭系岷河组构造角砾岩; EW向断裂构造; Au、As、Sb等地化异常
大桥超大型金矿	岩浆热液型	三叠系硅质角砾岩; 宽缓复式背斜构造; Au、Ag、As、Hg、Sb等地化异常
鹿儿坝大型金矿	浅成中-低温热液型	中三叠统光盖山组碎屑岩; 中酸性脉岩; 近EW向和NW向断裂破碎带; Au、As、Sb、Hg、Bi等地化异常
寨上(沟麻背)大型金矿	浅成中-低温热液型	下二叠统郭家堡碎屑岩、下泥盆统安家岔组碎裂岩、板岩、灰岩, NW向断裂构造和褶皱构造; Au、As、Sb、Pb综合异常
大水超大型金矿	岩浆热液型	三叠系郭家山组碳酸盐岩; 印支晚期—燕山早期中酸性脉岩; 区域NW向主断裂构造配套的次级压性断裂; Au、Ag、As、Hg、Sb组合异常
小东沟中型金矿	浅成中-低温热液型	泥盆系安家岔组碎屑岩, 石英脉, 断裂裂隙构造; Au、Ag、As、Hg、Sb组合异常
石鸡坝大型金矿	岩浆热液型	中三叠统硅化石英砂岩、褐铁矿化碎裂(砂岩)板岩, 花岗斑岩脉, 破碎带、脉岩带、蚀变带
阳山大型金矿	岩浆热液型	中泥盆统桥头组千枚岩、灰岩、砂质板岩; 弧形构造(褶皱、断裂); Au、Ag、As、Sb、Hg、Mo、Pb、Zn综合异常
塘坝小型金矿	浅成中-低温热液型	泥盆系变质火山-碎屑沉积, 断裂构造带
口头坝小型金矿	受变质型	青白口系秧田坝岩组浅变质岩系; NE向断裂破碎带; Au、Hg、As、Sb、Bi组合异常
碧口中型砂金矿	砂矿型	第四系全新统; 现代河床、河漫滩冲积砂砾石层; 自然重砂异常

测工作的结果。变量的演变往往与各种地质因素相关,尤其与矿体特征的差异有着更为密切的联系,因此,通过对预测变量进行深入的研究,筛选预测要素图层,并赋值,选取与预测区的联系紧密的变量,实现预测区的精准定位。

筛选预测要素变量的首要任务是解决与预测工作关系密切的地质问题,因此,在整个预测工作中,地质变量的选取应反映成矿地质体特征、成矿构造与成矿结构面的分布特征以及与成矿作用有关的特征。将作为预测要素的变化量通过构建相关参数算法,提取或计算出变量的观测、变化趋势等数值是变量赋值的核心思路。

大桥岩浆热液型金矿预测区共筛选出 6 类预测要素(表 11),包括:①三叠纪硅质角砾岩(成矿建造)。②成矿侵入体。③控矿构造。④地球化学异常。⑤遥感铁染、羟基异常。⑥矿化点。

3.1.2 预测区圈定流程

在圈定预测区时,将各必要的预测要素面元矢量化。在建模器中,除输入单元与输出单元以外,其核心是面文件的叠加分析单元,主要包括 3 种基本叠加分析手段,即相交分析、合并分析和相减分析,预测区的圈定方法均是由这 3 种基本叠加方式组合而成。

如大桥岩浆热液型金矿的预测要素变量(图层)通过合并、相交分析(表 12),综合确定预测区边界。

3.1.3 圈定细则

分析各矿床成矿的必要、重要要素,提取出这些要素的图元文件(变量),构建相关因素叠加分析模型,应用 GIS 平台实现预测区的定位。物探、遥感(羟基、铁染异常)等由于算法、参数的不同,造成数据的不确定性及多解性,同时高精度物探手段又无法在全区开展,造成了信息不对称,因此其仅具有一定的参考意义,指示成矿比较间接,因此作为优选要素使用。圈定预测区过程中的详细规则如下:

a.建立预测工程及变量提取;b.建立预测区模型;c.图层重叠分析合成初步预测区;d.对范围过小的预测区进行合并,若合并的过程中多个区域中存在空白区,依据地质特征进行连接;e.预测区原则上不大于 50 km²,不小于数据精度;分割面积大于 50 km² 的区域,合并太小的区域;f.修饰形成最终的预测区。

3.1.4 模型区的构建

将具有典型代表的矿床所在的预测区确定为模型区,以此确定预测量估算的各类参数,将模型区与预测范围内预测要素相联系,根据匹配度即可对预测区进行定量估算,模型区的构建与选择,主要与区内

表 11 大桥岩浆热液型金矿预测区定性变量赋值与构置

Tab. 11 Assignment and configuration of qualitative variables in the prediction area of Daqiao magmatic hydrothermal gold deposit

序号	变量图层(库)	变量赋值
1	成矿沉积建造图层	存在标志
2	成矿侵入岩图层(侵入岩外缓冲区、磁法推断侵入体、重力推断侵入体、遥感环形构造推断侵入体)	存在标志
3	成矿构造图层(宽缓复式背斜构造、地质构造、遥感解译构造、重力推断构造)	距离大小
4	化探图层(Au、Sb单元元素异常及综合异常)	存在标志
5	遥感羟基、铁染、硅化、碳酸盐化异常及带要素图层	存在标志
6	矿化点图层	存在标志

表 12 大桥岩浆热液型金矿圈区预测要素叠加关系表

Tab. 12 Superposition relationship of prediction factors in Daqiao magmatic hydrothermal gold zone

序号	预测要素	要素属性	图层组合运算功能
1	成矿建造	三叠纪硅质角砾岩	面
2	成矿构造	宽缓复式背斜构造(缓冲区)	面
3		北东向区域性断裂、次级断裂(缓冲区)	面
4		重力推断断裂构造(缓冲区)	面
5		遥感解译断裂构造(缓冲区)	面
6	地球化学异常	组合异常(Au-As-Hg-Sb)	面
7		金单元元素异常在矿床处有较高的衬值,矿体产在浓集中心及附近	面

矿床类型种类、典型矿床个数等相关。需要注意的是在定量估算的过程中,模型区设置的合理程度,将直接影响着估算结果的准确性。

3.1.5 预测量估算方法

预测量采用体积法进行估算,利用已查明模型区中矿体、矿产资源分布特征,计算单位体积内矿产资源量,根据矿体分布范围及模型区范围的相互关系,推算出模型区矿产预测量,并确定模型区单位体积内的含矿率,结合拟估算预测区体积值,利用体积法计算公式分不同预测深度进行估算。

3.2 数据来源及质量控制

本次工作收集了甘肃省已评审备案及已评审未归档的各类地勘报告、地质储量报告及评审意见书等千余份,数据资料真实可靠,保证了本次预测工作的准确性。

预测数据类型包括:基础地质数据,矿产数据,物化遥数据及资源量数据。为保障预测结果的可靠,基础地质数据因应用矿床模型综合地质信息预测方法,细化了基础地质信息,降低了某一要素的偏差对预测结果的影响;同时,通过甘肃省国情调查成果消除了矿产、物化遥及资源量数据的错误。

3.3 矿产地数量及查明资源量

上一轮 2 处超大型(寨上、阳山)金矿矿床规模降为大型,本次将大水、大桥、早子沟 3 处大型及加甘滩(小型)升级为超大型。对于大型矿床,拉尔玛金矿、李坝金矿无变化,新增以地南金矿,鹿儿坝、大店沟金矿降为中型。西秦岭地区查明金金属资源量 1 000 余 t。本次工作统计的金矿产地数量、查明资源量情况,以及在全国矿产资源潜力评价项目成果对比结果见下表 13。

表 13 矿产地数量、查明资源量统计成果一览表
Tab. 13 List of statistical results of mineral producing areas and identified resources

项目名称	总数(个)	超大型(个)	大型(个)	中型(个)	小型(个)	矿点(个)	查明金金属资源量(t)
全国矿产资源潜力评价项目	135	2	9	16	33	75	800+
甘肃省紧缺战略性矿产资源潜力评价	245	4	7	24	105	105	1 000+

3.4 预测区圈定及预测量估算结果

根据预测要素空间复合程度筛选并确定预测区,

预测区圈定成果见表 14,预测区分布及其与矿产地相对位置关系见图 5。

表 14 甘肃省西秦岭金矿预测区成果表
Tab. 14 Results table of West Qinling gold deposit prediction area in Gansu Province

序号	预测区编号	预测区名称	预测类型	类别	面积(m ²)	查明资源量(kg)	深度(m)	预测量(kg)		变化原因	可类比典型矿床
								原来	现在		
1	A622201082	黑沟	岩浆热液型	A	8 914 364	4 910	260	0	5 567	预测量变化	柴家庄
2	A622201083	柴家庄		A	18 195 000	5 559	265	0	16 236	预测量变化	柴家庄
3	B622201084	暖和湾		B	4 114 269	862	300	0	3 322	新增	柴家庄
4	C622201085	旧庄沟		C	6 330 000	0	120	858	0	无变化	柴家庄
5	C622201086	阴崖		C	17 085 000	0	120	2 317	0	无变化	柴家庄
6	B622201087	花石山		B	20 200 000	1 660	345	0	29 842	预测量变化	柴家庄
7	B622201088	散岔		B	7 837 500	2 107	230	0	6 041	预测量变化	柴家庄
8	C622201089	石皇沟		C	2 775 000	0	90	0	2 822	预测量变化	柴家庄
9	B622201090	庙山梁		B	3 080 000	1 881	560	0	5 916	预测量变化	柴家庄
10	C622201091	桦林沟		C	15 647 500	21	235	0	44 800	预测量变化	柴家庄
11	C622201092	魏家庄		C	9 372 500	0	80	847	0	无变化	柴家庄
12	B622201093	纸房沟		B	7 242 500	4 335	380	0	8 105	预测量变化	柴家庄
13	C622201094	董水沟门		C	4 025 000	0	90	409	0	无变化	柴家庄
14	C622201095	阎家川		C	13 545 000	860	160	0	6 487	预测量变化	柴家庄
15	C622201096	黄家坪		C	14 652 500	0	80	1 325	0	无变化	柴家庄
16	A622201097	木皮沟梁		A	29 869 123	22 318	310	0	84 368	预测量变化	大店沟
17	A622201098	望天沟		A	10 485 050	8 011	310	0	29 439	预测量变化	大店沟

续表 14

序号	预测区编号	预测区名称	预测类型	类别	面积(m ²)	查明资源量(kg)	深度(m)	预测量(kg)		变化原因	可类比典型矿床
								原来	现在		
18	B622201099	林家庄	受变质型	B	15 474 571	2 751	480	0	7 252	预测量变化	口头坝
19	A622201100	大店沟	岩浆热液型	A	61 161 149	30 589	630	0	38 596	预测量变化	大店沟
20	A622201101	柳梢沟		A	38 710 000	6 205	455	0	25 420	预测量变化	柳梢沟
21	C622201102	沈家庄		C	46 370 000	0	160	0	3 330	预测量变化	大店沟
22	B622201103	阿芒沙吉		B	5 316 948	1 740	640	0	25 477	新增	早子沟
23	C622201104	夏河北东		C	2 131 923	0	640	6 242	0	无变化	早子沟
24	B622201105	三索玛		B	3 918 348	1 226	640	25 518	0	无变化	早子沟
25	B622201106	完尕滩		B	5 841 520	691	640	0	28 631	预测量变化	早子沟
26	B622201107	答浪沟		B	30 128 066	811	640	0	50 424	预测量变化	早子沟
27	B622201108	阿什加		B	5 755 771	1 524	640	0	5 727	预测量变化	以地南
28	A622201109	以地南		A	40 180 375	28 569	1 220	0	112 035	新增	以地南
29	C622201110	唐四尔		C	2 026 309	0	640	3 955	0	无变化	早子沟
30	C622201111	贡岔		C	6 498 611	0	640	12 685	0	无变化	早子沟
31	A622201112	隆瓦寺院		A	4 347 487	7 421	640	18 869	0	无变化	早子沟
32	C622201113	大扎	浅成中-低温热液型	C	24 860 000	2 645	240	0	1 255	预测量变化	沟麻背
33	C622201114	蓝岭山		C	32 520 000	6 385	240	0	23 464	预测量变化	沟麻背
34	C622201115	尖山		C	38 530 000	120	240	0	27 800	预测量变化	沟麻背
35	C622201116	大黑山		C	31 180 000	3 621	240	0	22 497	预测量变化	沟麻背
36	A622201117	沟麻背		A	15 362 675	611	720	0	112 870	预测量变化	沟麻背
37	C622201118	后梁		C	9 660 000	586	240	0	6 970	预测量变化	沟麻背
38	A622201119	竹园北		A	5 341 068	3 027	280	0	11 136	新增	沟麻背
39	B622201120	竹子沟	岩浆热液型	B	15 248 030	655	440	0	15 250	预测量变化	李坝
40	C622201121	付家坪		C	12 333 229	0	320	0	6 237	预测量变化	李坝
41	A622201122	李坝		A	43 401 553	32 240	510	0	37 725	预测量变化	李坝
42	A622201123	火吉坪		A	27 007 500	4 362	440	0	23 809	预测量变化	李坝
43	C622201124	大庄里		C	11 680 000	0	120	0	1 107	预测量变化	李坝
44	C622201125	道边前		C	16 210 000	241	320	0	7 957	预测量变化	李坝
45	A622201126	金山		A	20 399 786	17 732	500	0	14 508	预测量变化	李坝
46	C622201127	吴家庄		C	12 912 500	0	220	0	2 245	预测量变化	李坝
47	B622201128	瓦河沟		B	30 238 879	1 520	230	0	14 968	新增	李坝
48	B622201129	锁龙		B	53 912 317	3 992	300	0	34 350	新增	李坝
49	B622201130	大埝下		B	10 327 751	1 893	200	0	3 004	新增	李坝
50	A622201131	九条沟		A	18 239 789	38 947	720	0	32 853	新增	李坝
51	A622201132	马家河	浅成中-低温热液型	A	22 334 819	11 278	350	0	85 793	预测量变化	小东沟
52	C622201133	桃园		C	28 210 000	0	120	0	10 508	预测量变化	小东沟
53	C622201134	渭子沟		C	32 010 000	0	120	0	11 924	预测量变化	小东沟
54	C622201135	王湾	岩浆热液型	C	19 620 000	0	120	0	3 585	预测量变化	李坝
55	C622201136	花园头		C	57 150 000	0	120	0	10 442	预测量变化	李坝
56	A622201137	花崖沟		A	23 187 498	11 097	400	0	45 392	预测量变化	李坝
57	A622201138	四儿沟门	浅成中-低温热液型	A	10 474 177	12 403	680	0	19 339	新增	小东沟
58	A622201139	小东沟		A	22 116 097	21 993	960	0	125 877	新增	小东沟
59	A622201140	小沟里		A	14 535 544	9 477	200	0	25 897	新增	小东沟
60	C622201141	三华咀		C	5 325 131	71	200	0	9 649	新增	小东沟
61	A622201142	沙沟		A	28 679 736	7 506	200	0	51 821	新增	小东沟

续表 14

序号	预测区编号	预测区名称	预测类型	类别	面积(m ²)	查明资源量(kg)	深度(m)	预测量(kg)		变化原因	可类比典型矿床
								原来	现在		
62	C622201143	来周村	岩浆热液型	C	4 292 745	0	640	22 179	0	无变化	早子沟
63	C622201144	华木格日东		C	3 428 635	0	640	6 693	0	无变化	早子沟
64	C622201145	灰隆昂西		C	4 554 022	0	640	13 334	0	无变化	早子沟
65	C622201146	拉木他卡		C	1 724 542	0	640	9 252	0	无变化	早子沟
66	B622201147	杂恰勒布		B	2 349 836	1 197	640	0	10 831	预测量变化	早子沟
67	C622201148	洒乙昂		C	2 598 990	0	640	7 610	0	无变化	早子沟
68	B622201149	桑曲		B	2 378 331	2 645	640	8 945	0	无变化	早子沟
69	B622201150	将其那梁		B	8 586 164	2 991	640	0	37 876	预测量变化	早子沟
70	C622201151	隆瓦那		C	2 141 302	0	640	10 435	0	无变化	早子沟
71	B622201152	直河完干		B	1 039 893	2 089	240	0	3 617	预测量变化	早子沟
72	C622201153	桑托卡南		C	1 170 269	0	640	2 284	0	无变化	早子沟
73	C622201154	拉木他		C	2 814 428	0	640	5 494	0	无变化	早子沟
74	C622201155	拉里沟		C	4 190 320	0	640	8 180	0	无变化	早子沟
75	B622201156	完安襄		B	950 642	1 785	640	0	3 081	预测量变化	早子沟
76	A622201157	早仁道		A	2 746 717	6 385	630	26 457	0	无变化	早子沟
77	C622201158	桑科南		C	2 156 410	120	640	12 493	0	无变化	早子沟
78	C622201159	希瓜娄北		C	551 601	0	640	1 615	0	无变化	早子沟
79	B622201160	完坑		B	1 791 833	2 134	640	0	7 038	预测量变化	早子沟
80	C622201161	索拉贡玛		C	2 498 554	0	640	15 109	0	无变化	早子沟
81	C622201162	地娄塘		C	3 163 244	0	640	12 328	0	无变化	早子沟
82	C622201163	江科尔		C	2 349 690	0	640	11 451	0	无变化	早子沟
83	A622201164	早子沟		A	7 642 737	115 898	1 350	0	119 985	预测量变化	早子沟
84	C622201165	多伊沟		C	2 380 411	0	640	11 600	0	无变化	早子沟
85	A622201166	加甘滩	浅成中-低温热液型	A	19 585 407	153 692	940	0	352 263	预测量变化	加甘滩
86	C622201167	三岔		C	22 040 000	0	230	1 294	0	无变化	鹿儿坝
87	C622201168	坎铺塔		C	18 710 000	0	230	1 099	0	无变化	鹿儿坝
88	C622201169	大林口		C	11 180 000	0	230	656	0	无变化	鹿儿坝
89	A622201170	鹿儿坝		A	53 240 000	7 146	690	0	37 514	预测量变化	鹿儿坝
90	B622201171	章哈寨-包家沟		B	40 470 000	4 241	230	0	2 888	预测量变化	鹿儿坝
91	C622201172	八岔沟		C	7 320 000	0	460	1 719	0	无变化	鹿儿坝
92	C622201173	结扎		C	16 740 000	0	230	983	0	无变化	鹿儿坝
93	C622201174	掌山沟		C	31 770 000	0	230	1865	0	无变化	鹿儿坝
94	A622201175	大桥	岩浆热液型	A	4 924 557	113 180	530	0	94 516	预测量变化	大桥
95	C622201176	六巷河南		C	1 193 871	0	250	6 468	0	无变化	大桥
96	C622201177	刘家山北		C	1 993 795	0	250	9 002	0	无变化	大桥
97	B622201178	上坝		B	1 664 062	1 193	250	0	8 123	预测量变化	大桥
98	C622201179	何家庄西北		C	2 942 610	0	250	13 817	0	无变化	大桥
99	C622201180	崖湾里		C	3 069 399	0	250	15 244	0	无变化	大桥
100	B622201181	两便坡		B	3 194 934	2 251	250	0	12 751	预测量变化	大桥
101	C622201182	五房沟东		C	3 196 970	0	250	17 898	0	无变化	大桥
102	C622201183	赵家庄		C	5 157 696	0	250	24 218	0	无变化	大桥
103	C622201184	杨家河东北		C	4 199 164	0	250	23 509	0	无变化	大桥
104	B622201185	金厂	岩浆热液型	B	5 233 085	967	250	0	28 330	新增	大桥
105	B622201186	安房坝		B	5 282 059	772	250	0	28 804	新增	大桥

续表 14

序号	预测区编号	预测区名称	预测类型	类别	面积(m ²)	查明资源量(kg)	深度(m)	预测量(kg)		变化原因	可类比典型矿床
								原来	现在		
106	A622201187	拉尔玛	浅成中-低温热液型	A	5 702 811	40 612	750	0	23 386	预测量变化	拉尔玛
107	B622201188	吾乎		B	10 482 813	2 778	760	0	17 016	预测量变化	坪定
108	C622201189	桑坝隆哇南西		C	1 028 012	0	760	1 667	0	无变化	坪定
109	B622201190	加勒克		B	12 333 366	583	495	0	14 585	预测量变化	坪定
110	C622201191	哈木岗		C	7 447 114	0	760	0	12 075	预测量变化	坪定
111	C622201192	足也		C	18 294 829	0	760	35 421	0	无变化	坪定
112	B622201193	甘善		B	3 690 839	3 621	760	3 785	0	无变化	坪定
113	A622201194	黑多寺		A	19 072 894	8 492	760	0	37 147	预测量变化	坪定
114	B622201195	洛大		B	9 074 775	611	760	19 358	0	无变化	坪定
115	B622201196	黑峪沟		B	23 012 257	586	760	50 052	0	无变化	坪定
116	C622201197	黑峪东		C	12 461 321	0	760	12 958	0	无变化	坪定
117	B622201198	羊里尾沟		B	19 280 270	3 027	760	39 399	0	无变化	坪定
118	C622201199	雷古山		C	38 996 020	0	760	63 229	0	无变化	坪定
119	A622201200	坪定		A	30 335 403	6 378	1 020	0	96 125	预测量变化	坪定
120	C622201201	帕胡芦		C	11 921 777	0	760	12 396	0	无变化	坪定
121	C622201202	黑山		C	10 871 046	0	760	11 304	0	无变化	坪定
122	C622201203	舟曲县		C	26 466 363	0	760	27 520	0	无变化	坪定
123	C622201204	砂川		C	28 534 783	0	760	29 671	0	无变化	坪定
124	C622201205	磨儿坪		C	21 372 939	0	760	22 224	0	无变化	坪定
125	B622201206	郭家山		B	8 745 963	2 084	300	0	5 500	预测量变化	坪定
126	C622201207	尖山子		C	8 510 000		90	554	0	无变化	通天坪
127	B622201208	赵家湾		B	13 989 107	1 680	260	0	8 833	预测量变化	通天坪
128	A622201209	通天坪		A	11 630 000	6 191	300	0	3 894	预测量变化	通天坪
129	C622201210	化坪		C	23 920 000		200	10 372	0	无变化	通天坪
130	C622201211	高家崖		C	12 960 000		100	937	0	无变化	通天坪
131	B622201212	头滩子		B	11 560 000	712	290	0	22 308	预测量变化	通天坪
132	B622201213	金滩子		B	8 540 000	72	285	0	5 616	预测量变化	通天坪
133	C622201214	于关		C	10 440 000		180	4 074	0	无变化	通天坪
134	B622201215	东河		B	7 921 164	1 579	200	0	3 000	预测量变化	通天坪
135	C622201216	南木让西	岩浆热液型	C	7 093 206	0	490	0	11 265	预测量变化	大水
136	A622201217	忠曲-辛曲		A	12 181 698	6 699	490	0	73 136	预测量变化	大水
137	A622201218	大水		A	17 393 085	101 067	765	0	70 748	预测量变化	大水
138	A622201219	石鸡坝		A	20 490 000	14 044	500	0	43 247	预测量变化	阳山
139	C622201220	高家山		C	31 282 500	0	250	0	10 934	预测量变化	阳山
140	A622201221	阳山		A	16 115 000	39 652	740	0	27 035	预测量变化	阳山
141	C622201222	张家山		C	26 805 000	0	500	0	37 474	预测量变化	阳山
142	C622201223	郑家磨坝		C	26 280 000	0	250	0	9 185	预测量变化	阳山
143	C622201224	立亭		C	18 035 000	0	250	0	6 303	预测量变化	阳山
144	B622201225	金坑子		B	15 761 868	1 459	500	0	31 594	新增	阳山
145	A622201226	尚家沟	浅成中-低温热液型	A	8 313 434	5 025	650	0	4 536	新增	塘坝
146	B622201227	塘坝		B	7 389 529	4 163	420	0	58 282	新增	塘坝
147	C622201228	魏家坝	受变质型	C	9 410 000	0	140	0	435	预测量变化	口头坝
148	C622201229	文昌宫		C	14 662 500	0	270	0	2 617	预测量变化	口头坝
149	B622201230	口头坝		B	11 237 500	3 226	520	0	4 501	预测量变化	口头坝
150	B622201231	肖车家		B	5 622 481	746	150	0	90	预测量变化	口头坝
151	C622201232	鹰咀山		C	17 417 500	0	80	0	461	预测量变化	口头坝
152	C622201233	赵钱坝		C	23 745 000	0	80	0	628	预测量变化	口头坝
153	C622201234	梨树坪		C	56 227 500	0	80	0	1 487	预测量变化	口头坝
154	C622201235	狮子崖		C	14 547 500	0	80	0	385	预测量变化	口头坝

续表 14

序号	预测区编号	预测区名称	预测类型	类别	面积 (m ²)	查明资源量 (kg)	深度 (m)	预测量 (kg)		变化原因	可类比典型矿床
								原来	现在		
155	B622201236	三河坝	受变质型	B	20 668 147	6 529	720	0	42 946	预测量变化	口头坝
156	B622201237	龙王庙		B	16 745 000	2 362	160	0	5 941	预测量变化	口头坝
157	C622201238	王家山		C	23 755 000	0	80	0	628	预测量变化	口头坝
158	C622201239	魏家坪		C	14 067 500	0	160	0	1 488	预测量变化	口头坝
159	C622201240	黄家院		C	36 620 000	0	80	0	968	预测量变化	口头坝
160	C622201241	玉皇尖		C	9 337 500	0	80	0	247	预测量变化	口头坝
161	C622200001	温家坝	砂矿型	C	722 975	0	2.15	27	0	无变化	碧口
162	B622200002	水口下		B	584 350	0	4.1	84	0	无变化	碧口
163	C622200003	张家河		C	353 025	0	3.5	22	0	无变化	碧口
164	B622200004	大川坝		B	730 225	0	5.2	133	0	无变化	碧口
165	B622200005	龙家坝		B	1 642 850	0	4.2	241	0	无变化	碧口
166	B622200006	毕家河		B	1 012 650	0	8.5	452	0	无变化	碧口
167	A622200007	谭家河		A	3 987 500	3 157	11.31	0	0	无变化	碧口
168	C622200008	尖铎山		C	615 325	0	3.2	34	0	无变化	碧口
169	B622200009	李家坝		B	1 503 475	0	10.1	531	0	无变化	碧口
170	B622200010	勾家坝		B	1 234 025	0	3.2	513	0	无变化	碧口
171	C622200011	板橙埡		C	98 850	0	2.8	18	0	无变化	碧口
172	B622200012	中干岭		B	185 775	0	3.8	138	0	无变化	碧口
173	A622200013	岸门口		A	2 161 500	3 368	5.91	0	0	无变化	碧口
174	B622200014	吴家湾		B	180 325	0	3.7	87	0	无变化	碧口
175	C622200015	草石坝		C	263 000	0	5.2	82	0	无变化	碧口
176	B622200016	朝家湾		B	669 225	0	8.6	691	0	无变化	碧口
177	C622200017	何家湾		C	943 300	0	10.5	594	0	无变化	碧口
178	B622200018	冯家坝		B	1 389 375	0	14.2	3 551	0	无变化	碧口
179	A622200019	中庙		A	2 155 875	8 026	15.38	0	0	无变化	碧口

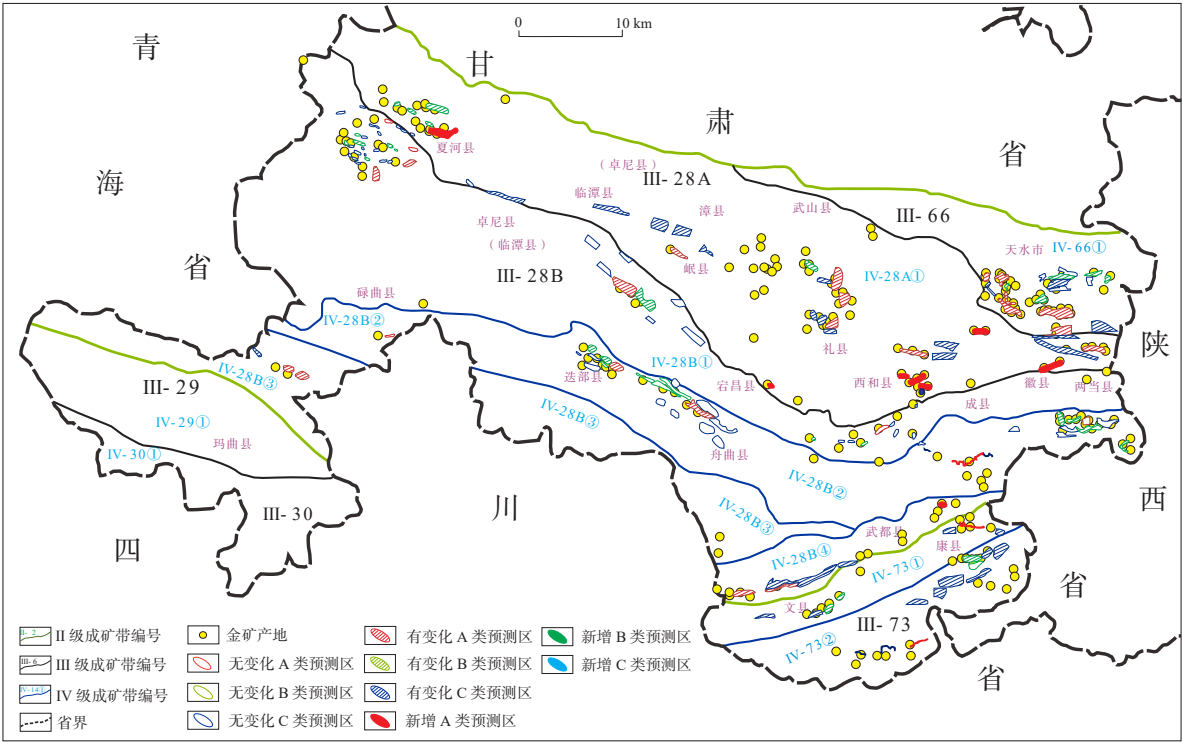


图5 甘肃省西秦岭金矿预测区分布及矿产地相对位置图

Fig. 5 Forecast area distribution and relative location map of West Qinling gold deposit in Gansu Province

本次工作成果表明,甘肃省西秦岭地区金矿预测量 3 512.107 t。全国矿产资源潜力评价项目与本次潜在矿产资源评价更新工作预测成果见表 15,其中,本

次工作保留无变化预测区 76 处,更新预测区 85 处,新增预测区 18 处(A 级 8 处,B 级 9 处,C 级 1 处),删除预测区 18 处。

表 15 甘肃省西秦岭地区金矿预测成果对比表

Tab. 15 Comparison of prediction results of gold deposits in West Qinling Mountains of Gansu Province

项目名称	预测区数量(个)				预测量(t)
	预测区个数	A级	B级	C级	
全国矿产资源潜力评价项目	179	46	50	83	3 051.077
甘肃省紧缺战略性矿产资源潜力评价	179	37	53	89	3 512.107

3.5 代表性预测区简介

3.5.1 花崖沟岩浆热液型预测区

该预测区位于合作-两当成矿亚带东部花崖沟一带,面积为 23.19 km²,呈带状展布,其长轴与区域构造线方向一致,为 A 类预测区。预测依据包括:含矿的龙潭构造地质体 b 岩段、黄家沟组细碎屑岩、泥岩、碳酸盐岩沉积建造,EW 向韧-脆性剪切断裂破碎带及其次级断裂、节理裂隙带,闪斜煌斑岩脉、花岗闪长岩脉及中酸性岩基外接触带,区内已知花崖沟、金厂沟、大水沟小型金矿,太阳寺、窑子沟金矿点。Au、Ag、As、Sb 等化探异常在区内套合程度高,并与已知矿床、含矿建造、控矿断裂吻合程度高,以 Au 为主的甲类综合异常覆盖整个预测区,化探标志明显。

本区为模型区,区内主要矿床勘查工作程度已达详查阶段,已提交查明资源量 11 097 kg,体积含矿率为 0.101 488 g/m³,预测量 45 392 kg,资源潜力大,外部环境较好,潜在经济价值巨大。

3.5.2 小东沟浅成中-低温热液型预测区

该预测区位于合作-两当成矿亚带南部小东沟一带,面积为 22.12 km²,呈带状展布,其长轴与区域构造线方向一致,为 A 类预测区。预测依据包括:赋矿地层泥盆系安家岔组、次级倒转紧闭背斜,已知小东沟中型金矿,见千山、王家沟小型金矿。安家岔组富集的元素有 Au、Ag。区内出露岩石中 Au 元素含量由高到低的次序为千枚岩、砂岩、片岩、板岩,化探标志明显。

本区为模型区,区内主要矿床勘查工作程度已达详查-勘探阶段,已提交查明资源量为 125 877 kg,体积含矿率为 0.036 851 g/m³,预测深度为 960 m,预测量为 125 877 kg,资源潜力大,外部环境较好,具潜在经济价值。

3.5.3 尚家沟浅成中-低温热液型预测区

该预测区位于新关-阳山成矿亚带东部尚家沟一带,

面积为 8.31 km²,呈点状,其长轴与区域构造线方向一致,为 A 类预测区。预测依据包括:赋矿地层为早泥盆世屯寨组绢云石英千枚岩、绢云石英岩,脆-韧性剪切带为必要的控矿构造,金矿化与硅化、黄铁矿化密切相关,已知尚家沟中型金矿。区内 1:1 万金异常区,与矿体分布匹配程度高,为主要的化探异常指示。该区预测方向为尚家沟金矿外围及深部,有望扩大矿床规模。

区内矿床勘查工作程度已达详查,已提交查明资源量为 5 025 kg,体积含矿率为 0.071 479 g/m³,预测深度为 650 m,预测量为 4 536 kg。

4 结论

(1)本次工作打破了预测工作区的壁垒,以Ⅲ级成矿带为调查单元,进行综合地质信息预测,规避了人为遗漏的优越的金矿成矿区域的问题。

(2)甘肃省西秦岭金矿在成矿期上相对集中分布于燕山期,其次为印支期,华力西成矿期居后。空间上分布则相对集中于陇南、天水、甘南地区。

(3)甘肃省西秦岭划分了 6 类金矿矿床类型,以岩浆热液型和浅成中-低温热液型矿床为主,在此基础上修正了李坝等 3 个典型矿床预测模型,建立了早子沟等 4 个典型矿床预测模型。旨在为甘肃省西秦岭地区金矿找矿预测提供依据,为相似矿床的对比研究提供准确的数据。

(4)甘肃省西秦岭金矿资源量有所增加,但已探明资源中贫矿、难选矿居多,资源开发有较大局限,今后勘查工作重点仍将是加强富矿和易选矿的勘查开发利用。针对重要金矿的预测模型及资源量的改变,对原预测区范围、特征、预测量、可信度等信息进行修订,新增预测区,预获金矿资源量 3 512.107 t。

致谢:本文为甘肃省国情调查项目的部分成果,本次预测评价受到各级领导及广大参与者的理解支

持;中国地质科学院丁建华正高级工程师, 刘建楠博士对本次工作的关心与指导, 对提高本次工作的质量提供了极大帮助, 在此一并致谢。

参考文献(References):

- 陈国忠, 龚全胜, 梁志录, 等. 西秦岭甘肃段特大型金矿床的地质地球化学特征及其成岩成矿年龄 [J]. 西北地质, 2017, 50(04): 91-104.
- 丁仁平. 甘肃省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 甘肃礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 257-263.
- FENG Jianzhong, WANG Dongbo, WANG Xueming, et al. Geology and Metallogenesis of Liba Large_size Gold Deposit in Lixian, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(3): 257-263.
- 郝迪, 孙彪, 孟菲蓉. 甘肃省寨上金矿床原生地球化学晕特征及其地质意义 [J]. 西北地质, 2021, 54(4): 88-99.
- HAO Di, SUN Biao, MENG Feirong. The Primary Halo Research of Zhaishang Gold Deposit in Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(4): 88-99.
- 焦阳, 冯俊环. 西秦岭地区猪婆沟金矿成矿物质来源及矿床成因分析 [J]. 西北地质, 2024, 57(01): 219-229.
- 柯昌辉, 王晓霞, 杨阳, 等. 西秦岭地区脉岩成因与金成矿关系-来自李坝金矿年代学、地球化学及 Nd-Hf-S 同位素的约束 [J]. 矿床地质, 2020, 39(1): 42-62.
- KE Changhui, WANG Xiaoxia, YANG Yang, et al. Petrogenesis of dykes and its relationship to gold mineralization in the western Qinling belt: Constraints from zircon U-Pb age, geochemistry and Nd-Hf-S isotopes of Liba gold deposit [J]. *Mineral Deposits*, 2020, 39(1): 42-62.
- 梁志录, 李鸿睿, 姜桂鹏, 等. 甘肃省合作市早子沟金矿资源储量核实(接替资源勘查)报告 [R]. 2017.
- 刘勇, 刘云华, 董福辰, 等. 甘肃早子沟金矿床成矿时代精确测定及其地质意义 [J]. 黄金, 2012, 3(11): 10-17.
- LIU Yong, LIU Yunhua, DONG Fuchen, et al. Accurate dating of mineralogenetic epoch and its geological significance in Zaozigou gold deposit, Gansu Province [J]. *Gold*, 2012, 3(11): 10-17.
- 刘月高, 吕新彪, 张振杰, 等. 甘肃西和县大桥金矿床的成因研究 [J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 1085-1099.
- LIU Yuegao, LÜ Xinbiao, ZHANG Zhenjie, et al. Genesis of Daqiao gold deposit in Xihe County, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30(6): 1085-1099.
- 路彦明, 李汉光, 陈勇敢, 等. 西秦岭寨上金矿床中石英和绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年 [J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 590-597.
- LU Yanming, LI Hanguang, CHEN Yonggan, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of alteration minerals from Zhaishang gold deposit in Minxian County, Gansu Province, and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(5): 590-597.
- 牛翠祎, 刘焯, 张岱. 中国金矿成矿地质特征、预测模型及资源潜力 [J]. 地学前缘, 2018, 25(3): 1-12.
- NIU Cuiyi, LIU Yang, ZHANG Dai. Metallogenic geological features, prediction models and resources potential of gold deposits in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(3): 1-12.
- 齐金忠, 李莉, 袁士松, 等. 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 矿床地质, 2005(2): 141-150.
- QI Jinzhong, LI Li, YUAN Shisong, et al. A SHRIMP U-Pb chronological study of zircons from quartz veins of Yangshan gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 2005(2): 141-150.
- 师彦明, 贺登平, 任新红, 等. 甘肃省礼县杜家沟矿区金矿资源储量核实报告 [R]. 2013.
- 隋吉祥, 李建威. 西秦岭夏河-合作地区枣子沟金矿床成矿时代与矿床成因 [J]. 矿物学报, 2013(s2): 346-347.
- 田向盛, 李鸿睿, 史文全, 等. 甘肃省夏河县加甘滩金矿资源储量核实扩大区勘探报告 [R]. 2016.
- 滕飞, 刘云华, 李中会, 等. 西秦岭大桥金矿硅质岩硅氧同位素特征及成因探讨 [J]. 西北地质, 2018, 51(01): 255-264.
- 王金元, 马东阳, 胡万长, 等. 甘肃省成县徐明山铅锌矿整合采矿权范围占用向阳山铅锌矿等矿产地质资源储量分割报告 [R]. 2016.
- 薛仲凯, 李朋伟, 常铭, 等. 西秦岭寨上卡林型金矿南矿段综合找矿模型及地质意义 [J]. 西北地质, 2021, 54(03): 174-187.
- XUE Zhongkai, LI Pengwei, CHANG Ming, et al. Comprehensive Prospecting Model and the Geological Significance for Zhaishang Carlin-Type Gold Deposit in West Qinling [J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(03): 174-187.
- 徐东, 刘建宏, 赵彦庆. 甘肃西秦岭地区金矿控矿因素及找矿方向 [J]. 西北地质, 2014, 47(03): 83-90.
- 杨拴海, 廖延福, 王增涛, 等. 甘肃省岷县寨上矿区沟麻背金矿普查报告 [R]. 2013.
- 叶天竺. 矿床模型综合地质信息预测技术方法理论框架 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(4): 1053-1072.
- YE Tianzhu. Theoretical Framework of Methodology of Deposit Modeling and Integrated Geological Information for Mineral Resource Potential Assessment [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2013, 43(4): 1053-1072.
- 袁得祎, 蒲访成, 李一航, 等. 甘肃省西和县小东沟金矿 8-31 线补充详查报告 [R]. 2015.
- 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 矿床学(第三版) [M]. 北京: 地质出版社, 2011, 1-413.