

粤西金矿带勘查生态环境影响定量评估

张源¹, 张纪伟^{2,3}, 郭敏¹, 张俊岭^{2,3}, 陈华勇^{2,3,4}

(1. 广东省地质调查院, 广东广州 510110; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 中国科学院矿物学与成矿学重点实验室, 广东广州 510640; 3. 中国科学院大学, 地球与行星科学学院, 北京 100049; 4. 广东省矿物物理与材料研究开发重点实验室, 广东广州 510640)

[摘要] 矿产勘查活动往往会带来一定的生态环境影响, 如何评估这些影响是当前矿产勘查所面临的迫切问题之一。本研究以广东省金矿资源最为集中的粤西金矿带为例, 采用生态系统服务价值核算方法, 利用单位面积生态环境价值, 结合植被恢复时间和矿产资源潜力, 量化评估粤西金矿带内的四个主要已知矿区勘查活动生态环境影响, 进一步推测量化评估金矿带内其他具有类似成矿地质条件的预测单元勘查活动生态环境影响。评估结果表明: (1) 粤西金矿带勘查活动生态环境影响成本较低, 相对于其矿产资源潜力带来的社会经济效益而言, 微乎其微; (2) 广东省粤西金矿带下一步勘查工作方向仍应重点集中在金牛 A 类预测区、新洲 A 类预测区与高村 A 类预测区等资源潜力大、单位资源量生态环境成本低的区域; (3) 本研究提出的勘查活动生态环境影响量化评估方法具有易操作、适用性广等特点, 可用于其他地理环境下的勘查活动生态环境影响量化评估。

[关键词] 矿产勘查 生态环境影响 定量评估 粤西金矿带

[中图分类号] P618.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2022)06-1228-08

Zhang Yuan, Zhang Jiwei, Guo Min, Zhang Junling, Chen Huayong. Quantitative ecological evaluation of gold exploration in West Guangdong gold belt[J]. *Geology and Exploration*, 2022, 58(6): 1228-1235.

0 引言

矿产资源是现代社会经济发展、工业创新、国防安全建设的必要物质基础和重要安全保障。随着社会经济的快速发展以及工业化持续推进, 预计未来数十年中国矿产资源需求将日益增高(赵立群等, 2020; 田郁溟等, 2022)。但目前中国矿产资源供需形势严峻, 在 43 种主要金属矿产资源中, 有 32 种矿产资源消费量居世界第一, 18 种对外依存度超过 40%(翟明国和胡波, 2021), 静态服务年限有进一步降低态势, 直接关系到国家经济安全。因此, 有必要进一步加大国内矿产勘查力度, 摸清我国矿产资源数量、质量、结构和空间分布情况, 为国家资源安全 and 经济安全提供有力保障(闫军印和齐阔, 2018;

刘文浩等, 2020; 吴巧生等, 2020; 成金华等, 2022)。但勘查活动往往会带来植被破坏、土壤污染等生态环境问题, 与当前国家生态环境保护政策出现了对立。据统计, 我国 10% 重点成矿带位于已划定生态保护区内, 35% 位于生态脆弱区内(巩鑫等, 2019; 周游等, 2022), 且生态保护区数量、面积也在不断增大。此外, 近年来多个省(自治区)相继开展了生态保护区、脆弱区矿权清理工作, 如西藏、新疆、内蒙古。生态环境保护不断加强, 给地勘工作带来了越来越大的“倒逼”压力, 导致地勘工作空间和范围受到严重压缩。

为了促进生态环境保护与资源勘查互利共赢, 我国不断寻求降低勘查开发生态环境影响的方式, 包括大力推行矿产资源绿色勘查行动(郑杰等,

[收稿日期] 2022-04-18; [改回日期] 2022-08-10; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 广东省财政项目“广东省矿产资源国情调查”(编号: 09-2019-XMZC-0011-82-0003) 和广州市科技计划项目“金属矿床智能勘查指导系统研究”(编号: 202102080318) 联合资助。

[第一作者] 张源(1975年-), 男, 高级工程师, 1996年毕业于成都理工学院, 地质矿产勘查专业, 获硕士学位, 主要从事地质矿产勘查与地理信息研究。E-mail: iccke@qq.com。

[通讯作者] 张纪伟(1997年-), 男, 在读博士生, 2020年毕业于福州大学, 资源勘查工程专业, 获学士学位, 主要从事金属矿床勘查开发生态环境影响评估研究。E-mail: zhangjiwei20@mails.ucas.edu.cn。

2021)。虽然近几年来绿色勘查行动在国内不断推广,并在青海、广西、内蒙等地进行了试点,取得了一定成果(祁发龙等,2018;雷晓力等,2019;马聘等,2019;罗长海等,2019;杜藺等,2021),但由于其是从政策上对勘查工作行为进行约束,且不同地区生态环境差异巨大,不同矿种勘查开发环境影响也明显不同(叶珊珊等,2019;翟裕生,2020),同时未对绿色勘查行动生态环境影响进行量化评估,导致缺少对勘查活动生态环境影响系统性、科学性的认识(杜恩社和周红升,2008;陈华勇,2020)。因此,在用绿色勘查手段解决矿产勘查与生态环境保护之间问题的同时,同样需要一套严谨科学的勘查活动生态环境影响评价方法,来定量预测与评价矿产勘查活动对不同地区生态环境产生的影响。

基于此,本次研究从金矿(岩金)出发,以广东省最重要的金矿资源聚集区——粤西金矿带内四个主要金矿区和预测区为例,建立岩金矿勘查活动生态环境影响评估方法,定量分析粤西金矿带在勘查活动生态环境影响,为发现和评价矿产资源提供有力的前提条件,并为夯实我国战略性矿产资源储备基础,为确保资源能源有序开发利用和保护提供科学支撑。

1 研究区概况

粤西金矿带在大地构造位置上属于羌塘-扬子-华南板块东南缘,位于广东省主要断裂构造吴川-四会断裂带以西、遂溪断裂带以北、罗定-广宁以南构造区带内(郑义等,2017;王厉星等,2019),总面积约3.2万 km^2 (图1)。区带主要为山地丘陵,中间夹杂部分平原。丘陵海拔高程在500~200 m,分布在粤西地区中部及东南部,土地平坦深厚,气候温和,以林地为主,水资源丰富,西江从中穿过,进入肇庆汇集于珠江。

在矿产资源分布上,该区带是广东省金矿主要富集区。根据《广东省矿产资源总体规划(2016-2020年)》知,区带内有多处已探明矿床和大量金矿预测区,其中大中型矿床有肇庆河台金矿、信宜东坑金矿和英德大沟谷金矿等;金矿预测区有A级预测区17个、B级预测区21个、C级预测区24个,总预测金资源量约583.73吨,具有较好金矿资源找矿前景(图1c),但该区域现在面临着矿产资源丰富却难以申请入场勘查难题。本研究以该矿区带内四个主要金矿区以及预测区为例,探讨勘查活动生态环境影响,为后期矿产资源管理提供科学依据。

2 评估方法与数据

2.1 矿产勘查生态环境影响定量评估方法

在勘查工作中,对生态环境尤其是地表植被干扰产生较大影响的主要有驻地建设、钻探、道路施工、探槽、浅井和坑道等。对地表植被干扰可通过采取生态环境破坏成本理论方法进行有效评估。该方法是从经济货币化定量分析角度出发,将生态环境质量变化与社会经济数据进行结合,对生态环境受损情况进行分析。该方法目前在国内得到了较为广泛应用,如李海东等(2015)对大型露天矿山开采四年时间带来的生态破坏与环境污染进行了经济评价;罗长海等(2019)利用生态价值方法,分析了青海省绿色勘查和传统勘查分别带来的生态环境影响价值。这些实例为矿产勘查开发生态环境破坏成本评估提供了参考实例。

在张纪伟和陈华勇(2021)对勘查开发生态环境影响评估方法研究基础之上,结合《陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南》(2020),从不同生态系统、不同生态环境指标的实物量和经济价格分析各生态环境单位面积生态环境成本出发,结合勘查工程生态环境影响面积,进行量化分析。各个预测区由于处于勘查活动中最初期阶段,与已完成勘查活动的矿区不同,没有明确的普查和详查勘探设计。故我们根据处于同一成矿带内,矿床构造、成矿类型、生态环境特点等相似的矿区出发,利用“已知推未知”理论方法,来推测具有相似地质条件以及生态环境特点的预测区勘查活动生态环境影响,定量评估勘查活动生态环境影响。具体公式为:

$$T_E = W \times E_s \times K \times t \quad (1)$$

$$E_s = (S_F \times E_F + S_C \times E_C + S_P \times E_P + S_D \times E_D) / S_T \quad (2)$$

$$K = \sum_{i=1}^n \left(\frac{s_i}{w_i} \times \frac{w_i}{w_0} \right) \quad (3)$$

其中, T_E 为勘查活动生态环境影响总成本(元/年); W 为单个预测区矿石资源量(t); E_s 为区域单位面积生态环境总成本(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{年}$), S_F 、 S_C 、 S_P 、 S_D 分别为勘查活动森林、草地、农田、荒漠影响面积(hm^2); S_T 是总的勘查活动影响面积(hm^2); E_F 、 E_C 、 E_P 、 E_D 分别为勘查活动森林、草地、农田、荒漠单位面积生态环境成本(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{年}$); K 是已完成勘查工作的矿区单位矿石资源量勘查影响面积基准值,其是根据已经完成勘查工作的金矿区矿石资源量和勘查面积加权得出,单位为 hm^2/t ; n 是地质成矿背

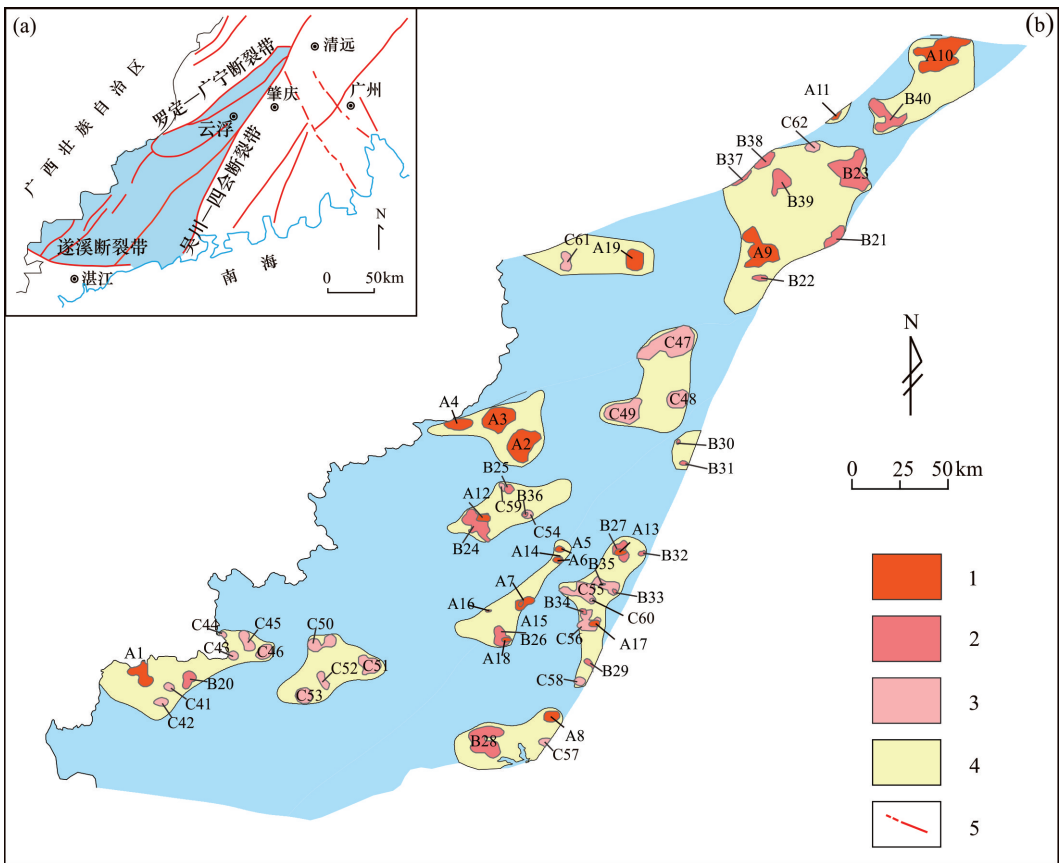


图 1 广东省西部主要断裂构造 (a) 和粤西金矿带预测区分布 (b)

Fig. 1 Map showing distribution of fault structures in western Guangdong Province (a) and gold forecasting regions in West Guangdong gold belt (b)

1 - A 类预测区: A1 - 廉江; A2 - 镇安; A3 - 加益; A4 - 森木岭; A5 - 永宁 (a); A6 - 永宁 (b); A7 - 三甲; A8 - 蒲牌; A9 - 高村; A10 - 新洲; A11 - 赤坑; A12 - 钱排; A13 - 合水 (a); A14 - 永宁; A15 - 三甲; A16 - 双水; A17 - 岗美; A18 - 八甲; A19 - 沙旁; 2 - B 类预测区: B20 - 红湖 (a); B21 - 潭布; B22 - 邓村; B23 - 金牛; B24 - 钱排 (a); B25 - 平塘; B26 - 八甲; B27 - 阳春; B28 - 马踏; B29 - 双捷 (a); B30 - 富林; B31 - 天堂; B32 - 合水 (b); B33 - 马水 (b); B34 - 潭水; B35 - 马水 (a); B36 - 新宝; B37 - 洲仔 (a); B38 - 洲仔 (b); B39 - 东乡; B40 - 石万; 3 - C 类预测区: C41 - 红湖 (b); C42 - 东升; C43 - 和平; C44 - 新华; C45 - 化州; C46 - 合江; C47 - 云龙; C48 - 永安; C49 - 茶洞; C50 - 黎垌; C51 - 泗水; C52 - 石鼓; C53 - 南盛; C54 - 新宝 (a); C55 - 马水 (b); C56 - 岗美 (a); C57 - 上洋; C58 - 横林; C59 - 平塘 (a); C60 - 马水 (c); C61 - 长岗; C62 - 螺岗; 4 - 矿产预测区; 5 - 断层

1 - prognosis province A: A1 - Lianjiang; A2 - Zhen'an; A3 - Jiayi; A4 - Senmuling; A5 - Yongning (a); A6 - Yongning (b); A7 - Sanjia; A8 - Pupai; A9 - Gaocun; A10 - Xinzhou; A11 - Chikeng; A12 - Qianpai; A13 - Heshui (a); A14 - Yongning; A15 - Sanjia; A16 - Shuangshui; A17 - Gangmei; A18 - Bajia; A19 - Shapang; 2 - prognosis province B: B20 - Honghu (a); B21 - Tanbu; B22 - Dengcun; B23 - Jinniu; B24 - Qianpai (a); B25 - Pingtang; B26 - Bajia; B27 - Yangchun; B28 - Mata; B29 - Shuangjie (a); B30 - Fulin; B31 - Tiantang; B32 - Heshui (b); B33 - Mashui (b); B34 - Tanshui; B35 - Mashui (a); B36 - Xinbao; B37 - Zhouzai (a); B38 - Zhouzai (b); B39 - Dongxiang; B40 - Shiwan; 3 - prognosis province C: C41 - Honghu (b); C42 - Dongsheng; C43 - Heping; C44 - Xinhua; C45 - Huazhou; C46 - Hejiang; C47 - Yunlong; C48 - Yun'an; C49 - Chadong; C50 - Lidong; C51 - Sishui; C52 - Shigu; C53 - Nansheng; C54 - Xinbao (a); C55 - Mashui (b); C56 - Gangmei (a); C57 - Shangyang; C58 - Henglin; C59 - Pingtang (a); C60 - Mashui (c); C61 - Changgang; C62 - Luogang; 4 - metallogenic prognosis province; 5 - fault

景和生态环境条件类同的、具有矿产勘查活动和资源量数据的矿区总数; s_i 为第 i 个已完成勘查工作的矿区勘查面积 (hm^2); w_i 为第 i 个已完成勘查工作的矿区矿石资源量 (t); w_0 为已知矿区总矿石资源量 (t); t 为植被恢复时间 (年)。

2.2 数据资料来源

本研究主要用到了粤西金矿带大地构造位置图、

金矿预测区空间分布数据、主要矿区勘探报告、土地利用类型、经济统计数据以及矿区开发环境影响评估报告等,各数据的来源以及用途详见表 1。主要矿区主要包括肇庆市河台金矿区、广宁县黄泥坑金矿区、信宜市东坑金矿区以及英德市大沟谷金矿区。主要矿区勘查工作量主要通过国情调查中各个矿区的普查、详查和勘探三个阶段工作量的统计。

表1 数据来源及其用途
Table 1 Data sources and their usage

数据类型	数据来源	时间	数据用途	备注
粤西金矿带大地构造位置	广东省地质调查院	2016年	确定研究区位置	比例尺为1:50000
金矿预测区数据	广东省地质调查院	2016年	预测区位置	比例尺为1:50000
各矿区勘查工作量	广东省地质调查院国情资源调查	—	矿区以往勘查工作量、资源量等统计	—
土地利用类型	地理监测云平台	2018年	判断研究区土地利用类型	比例尺为1:50000
矿区开发环境影响评估	广东省建设项目环境保护审批网站	—	验证结果的合理性	—

3 粤西金矿带勘查生态环境影响分析

3.1 粤西金矿带主要金矿区勘查生态环境影响

根据《广东省矿产资源总体规划(2016-2020

年)》中勘查规划,粤西金矿成矿区带内具有一定成矿规模和已经完成勘查活动的主要有河台金矿、黄泥坑金矿、信宜东坑金矿、英德大沟谷金矿四个矿区(表2)。

表2 粤西金矿带主要矿区
Table 2 Main gold deposits in West Guangdong gold belt

矿区名称	储量	品位	面积	状态
肇庆黄泥坑金矿	20.21 t	12.98 g/t	5.32 hm ²	待开发
信宜东坑金矿	15.0 t	5 g/t	4.47 hm ²	开发关停
肇庆河台金矿	58 t	3 g/t	7.72 hm ²	开发后期
英德大沟谷金矿	7 t	1 g/t	8.29 hm ²	正在开发

注:信宜东坑受2008年银岩锡矿溃坝事件影响,现处于关停状态,仅开发三个月。

根据以往地质勘查工作,结合《绿色勘查指南》(T/CMAS 2018)中对各项工作进行统计分析,以及向地勘工作专家咨询,得出探槽的平均规格为深3 m×宽0.6 m×长20 m,钻探的地表6 m×8 m×300 m,坑探的平均规格为长3 m×宽4 m×深3 m,道路建设平均宽3 m,营地建设平均规格为宽3 m×长4 m。将各地勘工作规范与工作量相乘,可得出各矿区地勘工作地表生态环境干扰面积(表3)。由于粤西金矿带主要以林地为主,分布少量农田、草地。此外,勘查工作以及矿区基本远离社区,结合实地考察以及野外调研,粤西金矿带已完成勘查工作的四个主要矿区和未深入勘查的预测区基本位于林地中,且在林地、草地以及农田三类土地利用类型中,林地生态环境价值最高,故本研究均按照林地生态价值的最高生态价值进行计算。植被恢复时间主要依据《广东省被毁林地恢复植被、补种树木标准和验收办法》粤林规[2021]3号规定和《绿色勘查

指南》中对勘查工作生态环境干扰要求而确定。该文件要求广东省复绿工作需一年内完成,最多不得超过两年。在当前严格的生态环境保护下,需严格遵守《绿色勘查指南》,最大限度降低生态环境干扰,故选择一年时间为植被恢复期求算勘查活动成本。得出勘查活动对生态环境影响最大值,更有利于后期资源管理以及矿产资源开发。

根据朱立安等(2020)按照国家林业局《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)得出的广东省主要林地2015~2016年单位面积生态环境价值为9.73万元/hm²·a。结合上述公式(1)和(2),得出黄泥坑矿区、信宜东坑矿区、河台矿区以及大沟谷矿区的勘查工作生态环境影响总成本分别为65.87万元、51.57万元、81.93万元、41.16万元(表4)。结合上述公式(3)得出粤西金矿带主要金矿区单位矿石资源量勘查生态环境影响面积为5.52 t/hm²。

表 3 粤西金矿带主要矿区勘查活动干扰面积统计

Table 3 Statistics of interference area during gold exploration in West Guangdong gold belt

	探槽(条)	钻探(条)	坑探(个)	道路(km)	营地建设(个)	总计(hm ²)
黄泥坑金矿	60	80	46	15	15	6.77
信宜东坑金矿	46	85	52	9	10	5.30
肇庆河台金矿	78	94	65	22	23	8.42
英德大沟谷金矿	42	45	38	10	6	4.23

表 4 粤西金矿带主要矿区勘查活动生态环境成本量化分析

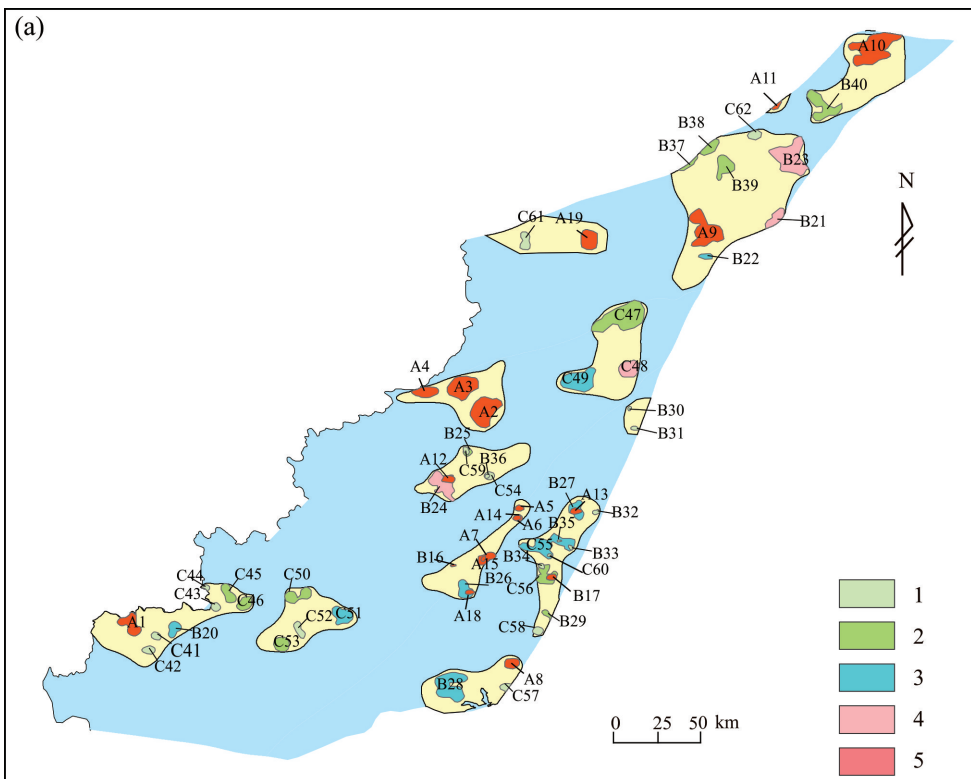
Table 4 Statistics of eco-environmental cost during gold exploration in West Guangdong gold belt

	单位面积生态环境成本 (万元/hm ² ·a)	勘查活动干扰面积 (hm ²)	植被恢复时间(年)	勘查活动 总成本(万元)
黄泥坑金矿区		6.77	1	65.87
信宜东坑金矿区	9.73	5.30	1	51.57
肇庆河台金矿区		8.42	1	81.93
英德大沟谷金矿区		4.23	1	41.16

3.2 粤西金矿带预测区勘查生态环境影响评估

根据公式(1)、(2)、(3)以及上节得出的粤西金矿带主要金矿区单位矿石资源量勘查生态环境影响面积(5.52 t/hm²),结合粤西金矿带各预测区资源量,得出各预测区按照勘查完整阶段对生态环境影响面积以及勘查带来的生态环境成本(图2)。通过图2可知,75%的粤西金矿带预测区未来勘查面积小于3.13 hm²,20%小于8.45 hm²,5%在8.45~17.68 hm²,其中大于8.45,小于17.68 仅有1个预

测区,即河台高村预测区为17.68 hm²;按照完整的勘查活动生态环境成本分析,粤西金矿区内各预测区未来开展勘查活动生态环境成本较高的有高村A类预测区、新洲A类预测区、镇安A类预测区等。此外,95%的粤西金矿带预测区未来勘查成本低于140万元,仅有高村A类预测区的勘查生态环境成本高于140万元,为180万元。结合上述分析可知,粤西金矿带勘查活动生态环境影响成本较低,主要原因在于该金矿带所在的华南地区植被生长周期短、



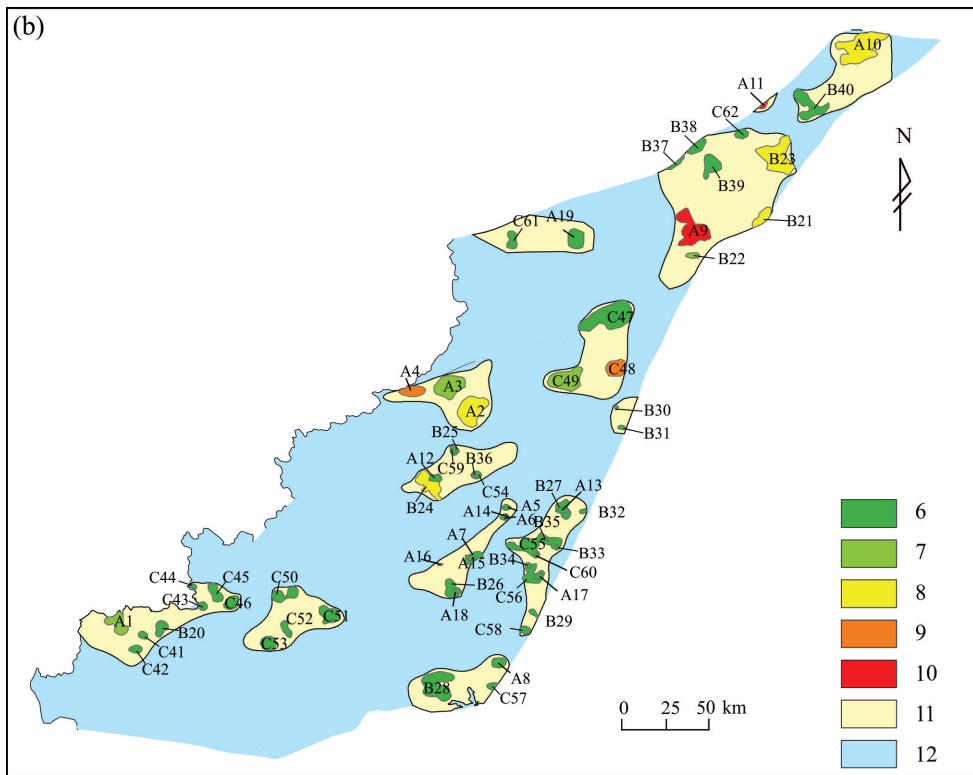


图2 预测区勘查生态环境影响面积(a)和生态环境影响成本(b,编号同图1)

Fig.2 Interference area(a)and eco - environmental cost(b)of gold forecasting region during gold exploration in West Guangdong

1 - 0.01 ~ 0.29 hm²; 2 - 0.30 ~ 1.18 hm²; 3 - 1.19 ~ 3.13 hm²; 4 - 3.14 ~ 8.45 hm²; 5 - 8.46 ~ 17.68 hm²; 6 - 0.06 ~ 20.00 万元; 7 - 20.01 ~ 40.00 万元; 8 - 40.04 ~ 60.00 万元; 9 - 60.01 ~ 80.00 万元; 10 - 80.01 ~ 180.00 万元; 11 - 矿产预测区; 12 - 研究区域

1 - 0.01 ~ 0.29 hm²; 2 - 0.30 ~ 1.18 hm²; 3 - 1.19 ~ 3.13 hm²; 4 - 3.14 ~ 8.45 hm²; 5 - 8.46 ~ 17.68 hm²; 6 - 0.00 ~ 0.20 million yuan; 7 - 0.20 ~ 0.40 million yuan; 8 - 0.40 ~ 0.60 million yuan; 9 - 0.6 ~ 0.8 million yuan; 10 - 0.8 ~ 1.80 million yuan; 11 - metallogenic prognosis province; 12 - study area

恢复速度快,缩短了勘查活动生态环境干扰持续时间。此外,相对于其矿产资源潜力带来的社会经济价值而言,微乎其微。以高村 A 类预测区为例,其潜在资源量为 92 吨,按照实际可开发资源量为总资源量的 60% 折扣,结合上海黄金交易所五年内金价的波动价格(261 ~ 449 元/g),得出该矿经济价值为 144.1 ~ 247.8 亿元,远远大于 180 万元的生态环境成本。故总体上粤西金矿带矿产勘查活动生态环境影响,相对于其后期开发带来的资源量潜在社会经济价值以及对国家矿产资源战略安全的重要性而言,可忽略不计。

4 结论

(1) 粤西金矿带勘查活动生态环境影响成本较低,相对于其矿产资源潜力带来的社会经济价值而言,微乎其微。

(2) 广东省粤西金矿带下一步勘查工作方向仍应重点集中在金牛 A 类预测区、新洲 A 类预测区与高村 A 类预测区等资源潜力大、单位资源量生态环

境成本低的区域。

(3) 本研究提出的勘查活动生态环境影响量化评估方法具有易操作、适用性广等特点,可用于其他不同区域地理环境下的勘查活动生态环境影响量化评估。

[References]

Chen Huayong. 2020. Meditations on the future development of ore deposit science in China [J]. Earth Science Frontiers, 27 (2): 99 - 105 (in Chinese with English abstract).

Chen Jinhua, Zhu Yongguang, Xu Deyi, Feng Yin. 2022. Research status and prospect of strategic critical minerals availability evaluation methods [J]. Journal of China University of Geoscience (Social Sciences Edition), 22 (4): 38 - 49 (in Chinese with English abstract).

Chen Yongqing, Mo Xuanxue. 2021. Metallogenic background, process, and exploration as one: A trinity concept for prospecting for super-large ore deposits [J]. Earth Sciences Frontiers, 28 (3): 26 - 48 (in Chinese with English abstract).

Du Enshe, Zhou Hongsheng. 2008. Environmental impact and economic gain-loss assessment for minerals resources exploitation of a mine area in Xinmi County [J]. Resource Science, (3): 440 - 445 (in Chinese with English abstract).

Du Li, Zeng Daoguo, Li Yang, Su Yonghu, Gong Xing, Wen Yuanyuan.

2021. On the significance of green exploration of solid minerals—Taking Xinmin green exploration demonstration as an example[J]. *Northwestern Geology*, 54(1): 256–268 (in Chinese with English abstract).
- DZ 0205–2020. 2020. Specifications for rock gold minerals exploration[S]. Beijing: Standards Press of China: 1–67 (in Chinese).
- Gong Xin, Zhao Yuanyi, Gao Zhirui, Liu Chunhua. 2019. Evaluation method and evaluation standard of green exploration in ecological area[J]. *Exploration Engineering*, 46(3): 86–92 (in Chinese with English abstract).
- Lei Xiaoli, Zhang Yao, Zhang Fuliang, Ma Pin, Wang Dan. 2019. Research on typical practice and technology application of green exploration in China in the new period[J]. *China Mining Magazine*, 28(S2): 124–128 (in Chinese with English abstract).
- Li Haidong, Shen Weishou, Jia Ming, Zhang Tao. 2015. Economic losses assessment for ecological destruction and environmental pollution in large-scale open-pit mine[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 39(3): 112–118 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wenhao, Liu Xue, Zheng Junwei. 2020. Bibliometric evaluation of international critical minerals resources research trend[J]. *Multi-purpose Utilization of Mineral Resources*, (5): 59–66, 58 (in Chinese with English abstract).
- Luo Changhai, Li Fujun, Ma Deqing, Qiao Jianfeng, Yun Qicheng. 2019. Work situation and effect analysis of green prospecting in Qinghai Province—Duocai integrated exploration area as example[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 34(3): 471–477 (in Chinese with English abstract).
- Ma Guoxia, Zhou Xiafei, Peng Fei, Zhou Ying. 2019. Cost of ecological degradation accounting in China in 2015[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 39(6): 1008–1015 (in Chinese with English abstract).
- Ma Pin, Zhang Fuliang, Lei Xiaoli, Zhao Yuande. 2019a. Suggestions on promoting green exploration in China[J]. *China Mining Magazine*, 28(S2): 138–141 (in Chinese with English abstract).
- Ma Pin, Zhang Fuliang, Lei Xiaoli, Zhao Yuande. 2019b. Study on environment management policies of green exploration: A case study of Queensland, Australia[J]. *China Mining Magazine*, 28(6): 77–80 (in Chinese with English abstract).
- Qi Falong, Wei Yunxiang, Gu Chao, Li Jie. 2018. Green exploration geological exploration work[J]. *China Mining Magazine*, 27(S2): 49–50, 65 (in Chinese with English abstract).
- T/CMAS—2018. 2018. Guidelines for the green exploration[S]. Beijing: Standards Press of China: 1–10 (in Chinese).
- Tian Yuming, Ju Yitai, Zhou Shuangguo. 2022. Thinking on several problems of China's strategic mineral resources security guarantee[J]. *Geology and Exploration*, 58(1): 217–228 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qiaosheng, Zhou Na, Cheng Jinhua. 2020. A review and prospects of the supply security of strategic key minerals[J]. *Resource Science*, 42(8): 1439–1451 (in Chinese with English abstract).
- Yan Junyin, Qi Kuo. 2018. Availability and risk analysis of regional mineral resources: A case study of iron ore resources in Hebei Province[J]. *Geology and Exploration*, 54(2): 426–434 (in Chinese with English abstract).
- Ye Shanshan, Zhang Jinde, Pan Li, Yang Xue, Yu Yang. 2019. Ecological environmental cost accounting of mining area based on the green mine: A case from a mining area in the North China Plain[J]. *Metal Mine*, (4): 168–174 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Hu Bo. 2021. Thinking to state security, international competition, and national strategy of mineral resources[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 43(1): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng. 2020. On the method of thinking in studying mineral deposits[J]. *Earth Sciences Frontiers*, 27(2): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiwei, Chen Huayong, Zhang Junling, Guo Min, Zhang Min, Cheng Jiamin. 2022. A preliminary framework of evaluation for metal deposit exploration prospecting[J/OL]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1–12, doi: 10.16539/j. ddgzyckx. 2021. 05. 017 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiwei, Chen Huayong. 2021. The preliminary study on the quantitative ecological evaluation of exploration and development of ore deposits—A case study of the Luoboling porphyry copper molybdenum deposit, Fujian Province[J]. *Earth Science*, 46(11): 3818–3828 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Liqun, Wang Chunnu, Zhang Min, Chen Tong, Mo Linchao, Wang Pinghu. 2020. Current exploration status and supply-demand situation of iron ore resources in China Mainland[J]. *Geology and Exploration*, 56(3): 635–643 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jie, Zhang Fuliang, Li Xiaoyu, Wang Huaqing, Yang Min, Yang Shiyu. 2021. Application prospect of the technology replacing trenching with drilling in green exploration[J]. *Geology and Exploration*, 57(5): 1158–1165 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Yi, Yu Pan, Wang Yuejun, Lin Zhenwen. 2017. Geological characteristics and genetic types of four series of ore-forming systems at West Guangdong and East Guangxi and their implication for the tectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(3): 682–694 (in Chinese with English abstract).
- Zhou You, Zhao Dan, Wang Hu, Guo Beibei, Yang Weishan. 2022. Study on identification and evaluation of ecological environment damage caused by illegal mining of minerals resources[J]. *Environmental Protections*, 50(12): 57–60 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Lian, Hu Xiancong, He Chizhuo, Lin Lanwen, Zeng Qingping. 2020. On evaluation of urban forest ecosystem services in Foshan[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 45(3): 137–142 (in Chinese with English abstract).

[附中文参考文献]

DZ 0205–2020. 2020. 矿产地质勘查规范 岩金矿[S]. 北京: 中国标准出版社: 1–67.

T/CMAS—2018. 2018. 绿色勘查指南[S]. 北京: 中国标准出版社: 1–10.

陈华勇. 2020. 对我国矿床学未来发展方向的思考[J]. *地学前缘*, 27(2): 99–105.

陈永清, 莫宣学. 2021. 超大型矿床成矿背景—过程—勘查三位一体

- 的找矿理念[J]. 地学前缘,28(3):26-48.
- 成金华,朱永光,徐德义,冯银. 2022. 战略性关键矿产可供性评价方法研究现状及展望[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),22(4):38-49.
- 杜蕾,曾道国,李阳,苏永虎,巩鑫,文愿运. 2021. 论固体矿产绿色勘查的重要意义——以新民绿色勘查示范为例[J]. 西北地质,54(1):256-268.
- 杜恩社,周红升. 矿区资源开发的环境影响及其经济损益评价——以河南省新密市某矿区为例[J]. 资源科学,(3):440-445.
- 巩鑫,赵元艺,高知睿,刘春花. 2019. 生态区绿色勘查评价方法及评价标准探讨[J]. 探矿工程,46(3):86-92.
- 李海东,沈渭寿,贾明,张涛. 2015. 大型露天矿山生态破坏与环境污染损失评估[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),39(3):112-118.
- 雷晓力,张瑶,张福良,马骋,王丹. 2019. 新时期我国绿色勘查典型实践与技术应用研究[J]. 中国矿业,28(S2):124-128.
- 刘文浩,刘学,郑军卫. 2021. 基于文献计量的国际关键矿产资源研究态势评估[J]. 矿产综合利用,(5):59-66,58.
- 罗长海,李福军,马德庆,乔建峰,云启成. 2019. 青海省绿色勘查工作开展情况及成效分析——以多彩整装勘查区为例[J]. 地质找矿论丛,34(3):471-477.
- 马国霞,周夏飞,彭菲,周颖. 2019. 2015年中国生态系统生态破坏损失核算研究[J]. 地理科学,39(6):1008-1015.
- 马骋,张福良,雷晓力,赵元德. 2019a. 当前推进绿色勘查工作的若干思考[J]. 中国矿业,28(S2):138-141.
- 马骋,张福良,雷晓力,赵元德. 2019b. 绿色勘查环境管理制度研究:以澳大利亚昆士兰州为例[J]. 中国矿业,28(6):77-80.
- 祁发龙,魏云祥,谷超,李杰. 2018. 地勘工作中绿色勘查探究:以青海省为例[J]. 中国矿业,27(S2):49-50,65.
- 田郁溟,琚宜太,周尚国. 2022. 我国战略矿产资源安全保障若干问题的思考[J]. 地质与勘探,58(1):217-228.
- 王厉星,许可,许德如,陈根文,朱昱桦,蔡建新,焦骞骞. 2019. 广东河台金矿围岩磁组构特征、年代学及与金矿化关系[J]. 大地构造与成矿学,43(6):1169-1185.
- 吴巧生,周娜,成金华. 2020. 战略性关键矿产资源供给安全研究综述与展望[J]. 资源科学,42(8):1439-1451.
- 叶珊珊,张进德,潘莉,杨雪,余洋. 2019. 基于“绿色矿山”的矿区生态环境成本核算——以华北平原某矿区为例[J]. 金属矿山,(4):168-174.
- 闫军印,齐阔. 2018. 区域矿产资源可供性评价及风险分析——以河北省铁矿资源为例[J]. 地质与勘探,54(2):426-434.
- 翟明国,胡波. 2021. 矿产资源国家安全、国际争夺与国家战略之思考[J]. 地球科学与环境学报,43(1):1-11.
- 翟裕生. 2020. 矿床学思维方法探讨[J]. 地学前缘,27(2):1-12.
- 张纪伟,陈华勇,张俊岭,郭敏,张源,程佳敏. 2021a. 初论金属矿床勘查开发前景评估方法[J/OL]. 大地构造与成矿学:1-12,doi:10.16539/j.dgzcyckx.2021.05.017.
- 张纪伟,陈华勇. 2021b. 金属矿床勘查与开发定量生态评估方法初探:以福建罗卜岭斑岩型铜钼矿为例[J]. 地球科学,46(11):3818-3828.
- 郑杰,张福良,李晓宇,王华青,杨敏,杨师宇. 2021. 绿色勘查中以钻代槽技术应用前景浅析[J]. 地质与勘探,57(5):1158-1165.
- 郑义,余盼,王岳军,林振文. 2017. 粤西-桂东四套成矿系统地质特征、成因类型及构造启示[J]. 岩石学报,33(3):682-694.
- 朱立安,胡美聪,柯欢,何持卓,林兰稳,曾清苹. 2020. 佛山市城市森林生态系统服务价值估算研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),45(3):137-142.
- 赵立群,王春女,张敏,陈彤,莫凌超,王平户. 2020. 中国铁矿资源勘查开发现状及供需形势分析[J]. 地质与勘探,56(3):635-643.
- 周游,赵丹,王虎,郭培培,杨威杉. 2022. 非法开采矿产资源生态环境损害鉴定评估探讨[J]. 环境保护,50(12):57-60.

Quantitative Ecological Evaluation of Gold Exploration in West Guangdong Gold Belt

ZHANG Yuan¹, ZHANG Jiwei^{2,3}, GUO Min¹, ZHANG Junling^{2,3}, CHEN Huayong^{2,3,4}

(1. Guangdong Geologic Survey Institute, Guangzhou, Guangdong 510110; 2. CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Mineral Physics and Minerals, Guangzhou, Guangdong 510640)

Abstract: Mineral exploration will inevitably bring some ecological and environmental impacts, and how to quantify such impacts has become increasingly vital. Taking the West Guangdong gold belt with the most concentrated gold resources in Guangdong Province as an example, this study utilized the methods of ecosystem service value accounting, ecological environment value per unit area, vegetation restoration time, and mineral resources potential to evaluate the ecological environmental impact of four major mines caused by exploration in West Guangdong gold belt. Then other metallogenic prognosis provinces with similar metallogenic geological environment in West Guangdong gold belt were further quantitatively evaluated on the basis of the ecological environmental impact of exploration. Results show that: (1) Compared with social and economic benefits of mineral resources potential, the ecological and environmental impact cost of gold mineral exploration is very slight in West Guangdong gold belt. (2) The next exploration in the West Guangdong gold belt should still focus on the Jinniu, Xinzhou, and Gaocun areas, which have large resources and low ecological and environmental costs per unit resource. (3) The proposed quantitative assessment method of ecological environmental impact of exploration activities is easy to operate with wide applicability, which can be utilized for quantitative assessment of ecological environmental impact of exploration activities in other geographical regions.

Key words: mineral exploration, ecological environment impact, quantitative evaluation, West Guangdong gold belt