

基于信息量法的青海地质勘查活动对生态环境影响评估研究

童海奎^{1,2}, 卫晓锋³, 马彦青^{1,2}, 孙紫坚^{4,5}, 柴星³, 刘泽群⁶,
马维明^{1,2}, 朱建鹏^{1,2}, 李嘉泰^{1,2}, 薛陈利⁵

1. 自然资源部高原荒漠区战略性矿产勘查开发技术创新中心, 青海 西宁 810000;
2. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810000; 3. 中色紫金地质勘查(北京)有限责任公司, 北京 100012; 4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
5. 北京矿产地质研究院有限责任公司, 北京 100012;
6. 北京中矿连咨询有限公司, 北京 100085)

摘要: 为了科学评估地质勘查活动对生态环境的影响, 促进地质勘查与生态环境保护协调发展, 本文探索建立了基于信息量法的评估方法体系: 按照 2 km×2 km 标准划分青海省评价单元, 假设每个评价单元高强度地质勘查活动影响面积为 7 850 m²; 分别计算地物覆被类型、植被覆盖度、噪声影响、地表水资源环境四项单因子信息量, 利用 GIS 叠加计算综合信息量; 采用自然间断点分级法, 将综合信息量划分为 -1.55~1.72、1.72~3.48、3.48~4.70、4.70~6.04、6.04~9.14, 对应的生态环境影响等级为轻微、较轻、一般、中等、严重。评估结果表明: 轻微-较轻等级的面积为 670 086.5 km², 占青海省全域面积的 94.6%, 说明地质勘查活动对生态环境影响是有限的、可控的。在地质勘查过程中要加强环境本底调查, 注重自然恢复能力, 减少人为过渡治理, 提升绿色勘查综合效益。该项评估为青海省地质勘查工作部署提供借鉴。

关键词: 信息量法; 自然间断点法; 地质勘查; 生态环境影响评估; 青海省

中图分类号: P66; X826 **文献标识码:** A

Ecological environment influence evaluation of geological exploration activities in Qinghai Province based on information value method

TONG Haikui^{1,2}, WEI Xiaofeng³, MA Yanqing^{1,2}, SUN Zijian^{4,5}, CHAI Xing³, LIU Zequn⁶,
MA Weiming^{1,2}, ZHU Jianpeng^{1,2}, LI Jiatai^{1,2}, XUE Chenli⁵

1. Technology Innovation Center for Exploration and Exploitation of Strategic Mineral Resources in Plateau Desert Region, Ministry of Natural Resources, Xining 810000, China;
2. Qinghai Geological Survey, Xining 810000, China; 3. Sino-Zijin Resources Co., Ltd., Beijing 100012, China;
4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
5. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources Co., Ltd., Beijing 100012, China;
6. Beijing Zhongkuanglian Consulting Co., Ltd., 100085, China)

Abstract: In order to evaluate the impact of geological exploration on ecological environment scientifically

收稿日期: 2022-08-09 **责任编辑:** 刘硕

基金项目: 青海省地质勘查基金项目资助(编号: No. 2019048002ky002)

第一作者简介: 童海奎(1973-), 男, 汉族, 青海人, 教授级高级工程师, 从事矿产勘查、研究及管理工作, E-mail: 464740168@qq.com.

通讯作者简介: 卫晓锋(1981-), 男, 汉族, 山西运城人, 博士, 高级工程师, 主要从事区域地质与生态地质调查与研究, E-mail: yanchixiaowei@163.com.

引用格式: 童海奎, 卫晓锋, 马彦青, 等. 基于信息量法的青海地质勘查活动对生态环境影响评估研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(3): 48-54, 73.

TONG Haikui, WEI Xiaofeng, MA Yanqing, et al. Ecological environment influence evaluation of geological exploration activities in Qinghai Province based on information value method[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(3): 48-54, 73.

and promote the harmony between geological exploration and ecological environment, the evaluation method system based on information value method is established in this paper. Firstly, evaluation units are segmented according to the grid of $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ in Qinghai Province, if the affected area of high-intensity geological exploration activity in each evaluation unit is $7\ 850\text{ m}^2$. Secondly, information values of influences performed by four single factors, including vegetation cover type, vegetation coverage, noise and surface water resources and environment, are calculated respectively, and the comprehensive information values are calculated by GIS superposition. Thirdly, the natural breaks classification method is used to classify the comprehensive information values into five categories: $-1.55-1.72$, $1.72-3.48$, $3.48-4.70$, $4.70-6.04$, $6.04-9.14$, and the corresponding ecological environment impact grade is slight, light, average, moderate, and serious, respectively. The evaluation results present that the area at the stage of slight to relatively light is $670\ 086.5\text{ km}^2$, accounting for 94.6% of Qinghai Province, which shows that the influence of geological exploration activities on ecological environment is limited and controllable. In the process of geological exploration, it is necessary to strengthen the environmental background investigation, implement green exploration according to various deposit types and exploration stages, pay attention to the natural restoration ability and reduce excessive artificial management so that improve the comprehensive benefits of green exploration. The evaluation results provide references for the deployment of geological exploration work in Qinghai Province.

Keywords: information value method; natural breaks classification; geological exploration; ecological environment impact evaluation; Qinghai Province

0 引言

地质勘查活动是为满足经济社会发展对矿产资源和地质资料的需要,对一定区域内的岩石、构造、矿产、地下水、地貌环境等地质条件进行调查研究^[1-2]。工作内容包括区域地质调查、矿产地质勘查、水文地质勘查、工程地质勘查、环境地质勘查等,可划分为区域地质调查、普查、详查、勘探等工作阶段;涵盖了路线调查、物探、化探、钻探、坑(硐)探等工作方法。随着国家对生态环境保护重视程度的日益提升,社会对地质勘查作业与生态环境保护协调发展越来越关注,需要客观科学评估地质勘查活动对生态环境影响。

生态环境影响的评价方法包括层次分析法、模糊评判法和专家打分法等,层次分析法存在数据统计量大、权重难以确定等缺点;特征向量和特征值的精确求法、模糊评判法存在计算复杂、指标权重人为主观性较强等缺点;专家打分法则过于依赖专家的专业背景和工作经验^[3-6]。信息量法作为一种基于统计学的定量方法,能够较客观地计算各个评价指标的信息量值,计算方法简单实用,在矿产资源预测、斜坡稳定性预测和地质灾害危险性评价等方面均有应用^[7-8]。基于地质勘查活动工作周期短、流动性大、工程施工量小等特点,探索采用信息量法来揭示和预测勘查活动对生态影响及人类健康和经济发展的作用和影响^[9],科学分析一个地区的生态负荷或环境容量^[10-11]。

青海省于2016年建立“多彩模式”绿色地质勘

查工作体系,全面推进绿色勘查,减少地质勘查活动对生态环境的扰动。由于青海省地形地貌类型多样、气候条件复杂多变、生态环境变化快速,需要建立一套系统化、标准化的生态环境影响评估方法体系,客观评价和预测绿色勘查对生态环境影响及潜在风险。本文以地质勘查活动诱发环境影响可能性为假设条件,运用GIS空间分析技术和信息量评价模型,评价地质勘查活动对生态环境潜在的影响程度,为新时期地质勘查工作与生态环境友好共融提供科学支撑。

1 信息量模型

1.1 评估方法

信息量模型是一种基于信息论的统计预测方法,早期多用于地质矿产勘查领域^[12],现阶段在地质灾害易发性评价中应用较广泛^[13-14]。信息量法主要是根据已发生的变形或破坏的客观事实,将反映影响区域稳定性因素的实测值转化为反映区域稳定性的信息量值,根据地质勘查活动已造成的影响及破坏的客观事实,将反映影响区域环境稳定性因素的实测值转化为反映区域环境稳定性的信息量值,即用信息量大小评价地质勘查活动对环境影响发生的可能性,信息量越小说明发生影响可能性较小,反之则可能性越高^[15-16]。单因子信息量计算公式见式(1)。

$$I_{ij} = \ln \frac{N_{ij}/N}{S_{ij}/S} \quad (1)$$

式中: I_{ij} 为*i*个评价因子的第*j*类信息量; S 为评价

单元面积; S_{ij} 为落在评价单元内某一评价因子(地类/级别类型)的面积; N_{ij} 为地质勘查影响评价因子(地类/级别类型)的面积; N 为地质勘查影响面积。

确定总的评估因子个数 n 后,总的信息量值 I 由式(2)计算得到^[17]。

$$I = \sum_{i=1}^n I_{ij} \quad (2)$$

根据总的信息量值 I 值确定评估单元的影响等级,各评估指标的综合信息量值越大,表明生态环境影响风险越高。对每个单元进行信息量 GIS 叠加,划分不同等级的影响区。

1.2 评估单元划分

对各评估因子进行栅格化处理过程中,首先要确定栅格单元的大小,栅格单元大小的划分在一定程度上影响评价结果的精度。对于规则的正方形网格大小可选择与栅格数据分辨率相同,也可由经验公式计算得到^[18]。

对青海省不同阶段、不同类型的 3 451 个地质勘查活动的工作面积进行统计,地质勘查工作区面积介于 84.04~1.12 km²,平均为 2.36 km²,综合评估栅格数据分辨率为 30×30,故将评估单元的大小确定为 2 km×2 km,将全省划分为 180 250 个评价单元。

基于野外调查确定每个评估单元内地质勘查活动(槽探、钻探、辅助道路)影响强度。野外调查 38

个不同类型地质勘查项目,通过统计发现预查、普查和详查等不同阶段的勘查活动,在每平方千米地表影响面积占比为 0.015%~0.450%,平均为 0.270%,每个评价单元内的地质勘查活动影响范围 ≤0.01 km² (4 km² × 0.270%),即 10 000 m²。因此,本次评估假设地质勘查活动的高烈度情景为:以每个评价单元的中心为圆点,直径 100 m 为影响范围,影响面积为 7 850 m²。

1.3 评估流程

1) 研究青海省 1:25 万矿产地质报告,分析地质勘查活动的分布特征。

2) 探讨研究区地质勘查工作对生态环境影响,确定环境影响的主要因子为地物覆被类型、植被覆盖度、噪声影响、地表水资源环境。

3) 利用 ArcGIS 的空间分析功能对各评价因子进行栅格化。首先利用重分类进行因子的分级;其次根据所计算的适宜网格大小,采用重采样使各个评价因子图层的网格大小一致;最后通过式(1)计算各个评价单元的信息量值,重分类并生成各评价因子的信息量专题图。

4) 利用 ArcGIS 的叠加分析和栅格代数功能得到综合信息量(式(2)),并按统计学中的自然断点法对结果进行重分类,得到多指标限定下青海全域内地质勘查活动对环境影响综合信息量,反映影响程度可能性大小(图 1)。

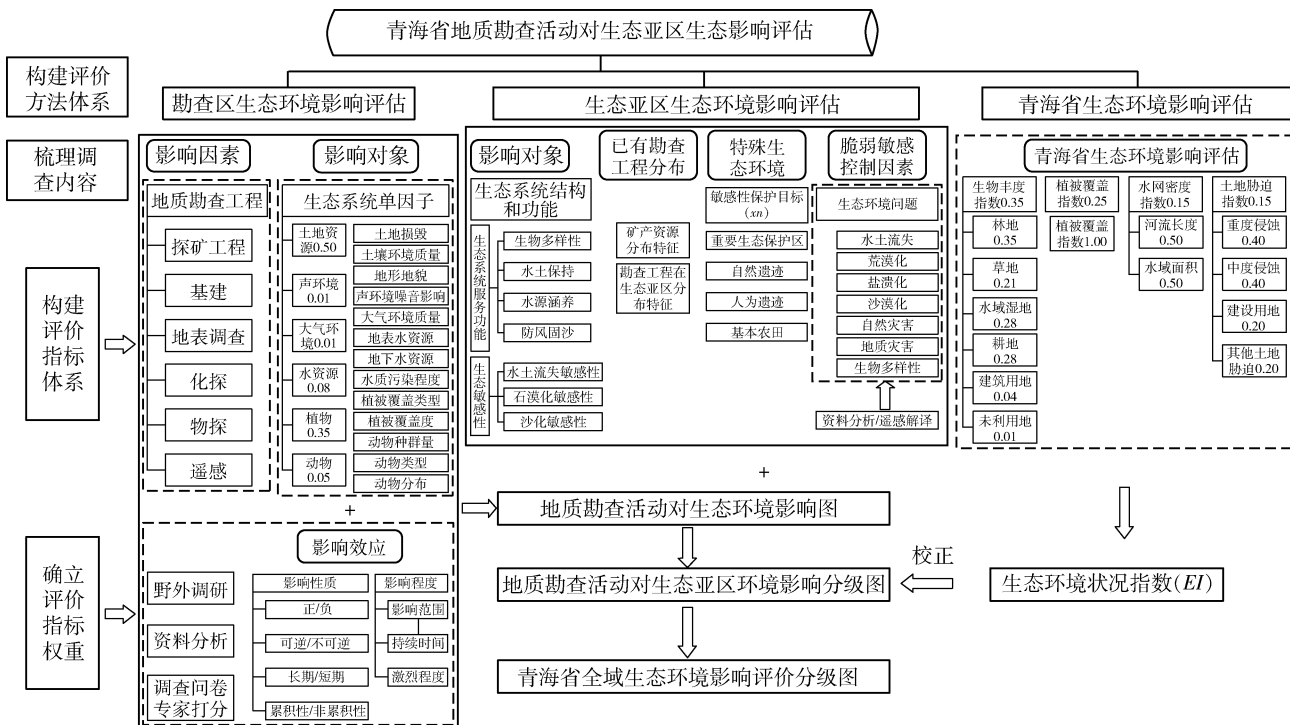


图 1 青海省地质勘查活动影响评估技术路线

Fig. 1 Technique flow chart for impact assessment of geological exploration activities in Qinghai Province

2 数据分析

2.1 研究区概况

青海省位于中国西部青藏高原的东北部,是长江、黄河、澜沧江的发源地,被称为“江河源头”,素有“中华水塔”之美誉;以山地为主,兼有平地和丘陵,东北部由阿尔金山、祁连山数列平行山脉和谷地组成,平均海拔4 000 m以上,西北部的柴达木盆地,海拔2 600~3 000 m;位于达坂山和拉脊山之间的湟水谷地,海拔在2 300 m左右;属于高原大陆性气候,具有气温低、昼夜温差大、降雨少而集中、日照长、太阳辐射强等特点,冬季严寒而漫长,夏季凉爽而短促。土地利用方面,畜牧业用地面积大、农业耕地少、林地比重低;高寒草甸和高寒草原类草场是青海天然草原的主体。野生植物群落中已发现经济植物1 000余种,药用植物680余种,著名中药50多种,许多属于国家一级保护植物和国家二级保护植物。

青海省地处欧亚板块与印度板块的衔接部位,

地质构造复杂,成矿地质作用多样,自北至南划分为祁连成矿带、柴达木盆地北缘成矿带、柴达木盆地成矿区、东昆仑成矿带、“三江”(金沙江、澜沧江、怒江)北段成矿带等主要成矿带^[19]。矿种方面具有矿产种类多、共生伴生矿产多、小矿多、矿产地分布散、矿产资源储量相对集中的特点。现已发现各类矿产111种,矿产总类98个,单矿种产地数1 532个,其中,大型246个、中型334个、小型952个。已探明的矿藏保有储量中,有58个矿种居全国前十位,镁、钾、锂、锶、石棉、芒硝、电石用灰岩、化肥用蛇纹岩、冶金用石英岩、玻璃用石英岩等居全国第一位^[20-21]。

2.2 评估指标选取

根据野外调查发现,地质勘查活动对生态环境影响主要是对地貌景观和地表植被的损害及勘查过程中产生的噪声及尘土、沙石等影响,无各类污染物产生和排放,因此本次影响评估指标选择地物覆被类型、植被覆盖度、声环境噪音和地表水资源环境四个指标层(表1)。

表1 青海省全域生态环境影响评价指标

Table 1 Evaluation indexes of ecological environment impact in Qinghai Province

影响指标	轻	较轻	一般	较重
地物覆被类型	未利用地 (赋值1)	草地或水域湿地 (赋值2)	林灌地 (赋值3)	耕地 (赋值4)
植被覆盖度	<10% (赋值1)	10%~30% (赋值2)	30%~50% (赋值3)	>50% (赋值4)
声环境噪音	距居民区≥1 000 m (赋值1)	距居民区500~1 000 m (赋值2)	距居民区200~500 m (赋值3)	距居民区<200 m (赋值4)
地表水资源环境	距离水系>1 000 m (赋值1)	距离水系500~1 000 m (赋值2)	距离水系200~500 m (赋值3)	距离水系<200 m (赋值4)

2.3 评估指标分级

1) 地质勘查活动对地物覆被类型影响分级:根据土地利用类型,将全域按照地物覆被类型划分为耕地、草/湿地、林/灌地、未利用地(多为戈壁荒漠)四级,分别对代表区内地物覆被的背景信息,对于不同的地物覆被条件,地质勘查活动对其影响效应也不同。根据土地利用的经济价值和可恢复性,地质勘查活动对耕地影响最大,赋值4;林灌地次之,赋值3;草地或者水域湿地多为低等的植物群落,更替周期较短,影响相对较小,赋值2;未利用地大半为尚难开发利用的石山、雪山、冰川、沙漠、戈壁、盐沼及自然条件恶劣的高海拔地区,主要分布于西部自然环境严酷的柴达木盆地和青南高原,地质勘查活动影响最小,赋值1(图2(a))。

2) 地质勘查活动对植被覆盖度影响分级:根据全域植被覆盖度的高低,将全域植被覆盖度按照

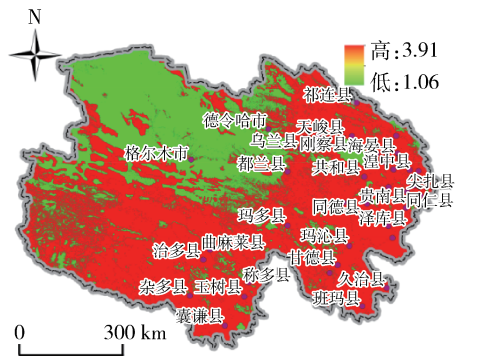
<10%、10%~30%、30%~50%、>50%划分为四级,植被覆盖度高低代表植物群落类型和生物多样性,植被覆盖度高的地区,多为乔-灌-草等植物群落层次丰富,生态系统复杂,自我恢复能力性差、周期长,影响程度较高;相反,植被覆盖度低的区域,多为低等草本或者地衣等,植物群落单一、生态系统简单,可恢复性高,周期较短,影响程度较低。因此,按照植被覆盖度高低分别赋值1、2、3、4(图2(b))。

3) 地质勘查活动对声环境噪音影响分级:地质勘查活动中的钻探等施工,会对人类等造成影响,产生施工噪音,而噪音属于有限影响范围因素。根据野外测量和相关标准,将居民区及其附近1 km范围作为噪音影响区域,按距离远近分别设置了<200 m、200~500 m、500~1 000 m、≥1 000 m,将研究区按照噪音影响程度以距离为依据划分为四级,对于距

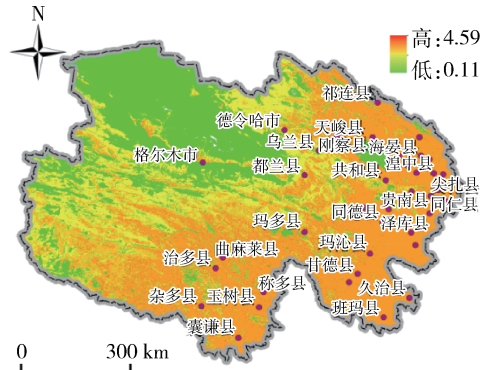
居民区 1 km 外的区域赋予影响范围内的最低值, 分别赋值 4、3、2、1。距离居民区越近(钻孔影响范围内面积越大)则反映出该区对噪声越敏感, 信息量值也越高, 对这类附带影响属性的因素, 即可直接通过信息量理论, 根据缓冲区面积分析得到最终评价结果(图 2(c))。

4) 地质勘查活动对地表水资源环境影响分级: 由于地质勘查过程中, 钻探等工程对地下水水质、水量影响可以忽略不计, 而工程施工及施工人员生活用

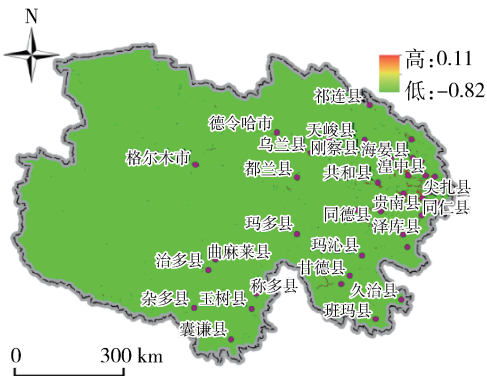
水等会对地表水存在一定的影响, 因此, 根据前期调查, 将地表水及其附近 1 km 范围作为研究区, 按距离大小分别设置了 <200 m、200~500 m、500~1 000 m、≥1 000 m 等四级, 分别赋值 4、3、2、1。研究中, 距离地表水系越近(水系周边的钻孔影响范围越大)则反映出该区对施工越敏感, 信息量值也越高, 对这类附带影响属性的因素, 即可直接通过信息量理论, 根据水系缓冲区面积分析得到最终评价结果(图 2(d))。



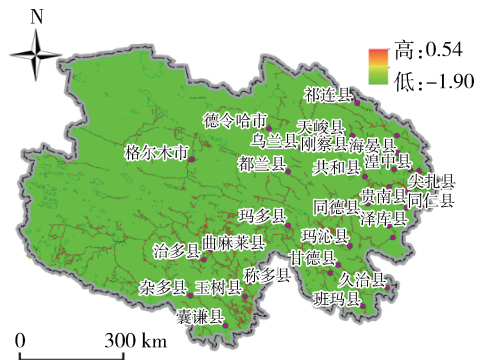
(a) 地物覆盖类型



(b) 植被覆盖度



(c) 声环境噪音



(d) 地表水资源环境

图 2 单因子信息量评估图

Fig. 2 Evaluation diagram of information quantity of single factor

3 生态环境影响评估

3.1 评估结果

评估结果综合等级划分依据采用自然间断点分级法, 该分类基于数据中固有的自然分组, 对分类间隔加以识别, 可对相似值进行最恰当的分组, 并可使各个类之间的差异最大化^[22-23]。综合信息量自小至大可划分为 -1.55~1.72、1.72~3.48、3.48~4.70、4.70~6.04、6.04~9.14, 对应地质勘查活动对生态环境影响程度由低至高(图 3)。根据野外地质勘查活动影响和生态环境本底特征调查、核实, 表征的影响程度等级分别为轻微、较轻、一般、中等、严重。

1) 轻微级别: 面积为 382 953.6 km², 占全域 54.1%, 主要集中在柴达木盆地及周缘一带, 地物主要是裸地、荒漠、戈壁等, 植被覆盖度 <10%, 土地及地表植被基本不会受影响, 地表水系较少, 对地表水及地下水潜在影响较轻或者无, 居民集中区较少, 无各类生态功能保护区。

2) 较轻级别: 面积为 287 132.9 km², 占全域 40.5%, 主要集中在祁连山、长江、澜沧江源头和东部人口密集区一带, 地物主要为草地或者湿地等, 植被覆盖度为 10%~30%, 地表水系较密集, 对植被和水环境潜在影响程度较高, 部分属于生态功能保护区。

3) 一般级别:面积为 27 229.4 km²,占全域 3.84%,主要集中在三江源保护区、青海湖和东部黄土农业区,地物主要为林地、灌丛和耕地等,植被覆盖度为 30%~50%,地表水系密集,地表植被及水环境会受到影响程度显著升高,居民集中分布区,对人类生产生活影响较大,主要分布在各类生态功能区。

4) 中等级别:面积为 11 046.1 km²,占全域 1.56%,全部属于各类重要生态功能区,植被覆盖度 >50%,水系发达,地表植被、地表水会受到一定的影响,自然恢复周期长。

5) 严重级别:面积为 10 km²,集中分布于青海湖等重点生态保护区及水系周边,敏感、珍稀动植物等保护会受到影响可能性较大。

综上所述,在相近或相似的地质勘查活动强度下,全域地质勘查工作实施对环境的影响属于轻微-较轻级别,局部属于一般和中等级别,青海省地质勘查工作对生态环境影响呈现有限性、可控性。

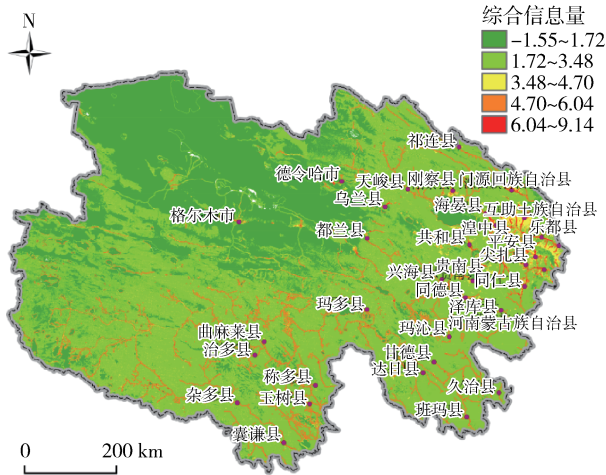


图3 综合因子信息量评估图

Fig. 3 Evaluation diagram of information quantity of comprehensive factors

3.2 影响分析及对策建议

从评价结果可看出,地质勘查活动对地表水系、居民区影响程度敏感区主要集中围绕水网及居民区分布,尤其是在东部的湟水温性草原生态亚区和黄河上游谷地温性草原生态亚区。南部绝大部分区域影响程度属于较轻级别,但可以看出该部分区域内的环境敏感带主要围绕河网分布,揭示出水网密集区对地质勘查活动的高敏感度。西北部柴达木荒漠-盐壳生态亚区,生态类型单一、敏感目标较少、生态环境承载力和环境容量较高,总体对地勘活动不敏感;但其南部的昆仑山荒漠草原生态亚区内,地勘活动对环境影响程度可能性逐步增加,该部分区域

属于荒漠草原过渡区,植被总体较为稀疏、生态环境脆弱,是对地勘活动较敏感的自然区域。

综上所述,地质勘查活动对生态环境扰动强度有限,采用绿色勘查技术方法,可以最大限度减轻对生态环境的扰动。①推进生态环境本底调查,尤其是在青海省东部的湟水温性草原生态亚区、黄河上游谷地温性草原生态亚区、南部的昆仑山荒漠草原生态亚区内,需开展“资源禀赋、环境条件、技术经济”三位一体评估,评估勘查活动对生态环境的影响。②在青海省西北部柴达木荒漠-盐壳生态亚区,绿色勘查修复以“影响因素清楚、地貌景观整治”为主,避免“二次损害”,其他区域应采用适度修复手段,避免过度修复。③绿色勘查过程中修复工作与地质勘查“预查-普查-详查-勘探”工作阶段契合,避免多次人为扰动,提升绿色勘查综合效益。

4 结论

1) 将青海省按照 2 km × 2 km 标准划分为 180 250 个评价单元,假设地质勘查活动的高烈度情景为每个评价单元的中心为圆点,直径 100 m 为影响范围,影响面积为 7 850 m²;分别计算地物覆被类型、植被覆盖度、声环境噪音、地表水资源环境四项因子信息量;利用 GIS 将各因子评价结果叠加得到多指标限定下青海全域内地质勘查活动对环境影响综合信息量。

2) 采用自然间断点分级法,综合信息量自小至大可划分为 1.55~1.72、1.72~3.48、3.48~4.70、4.70~6.04、6.04~9.14,表征的影响程度等级分别为轻微、较轻、一般、中等、严重五个等级。根据统计结果,轻微-较轻级别面积为 670 086.5 km²,占全域面积的 94.6%,说明地质勘查活动对生态环境影响的有限性、可控性。

致谢 该项目的野外调查工作中,青海省地质调查局、北京矿产地质研究院有限责任公司孙厚云博士、何泽新博士、贾凤超、李多杰、李健、樊刘洋等人参与并提出建设性意见,一并表示感谢。

参考文献

- [1] 汪恩满,方敏,王春芳.地质勘查活动监管制度创新与对策研究[J].中国矿业,2019,28(10):45-49.
WANG Enman, FANG Min, WANG Chunfang. Study on the regulatory system innovation and countermeasures in the geological exploration activities [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(10): 45-49.
- [2] 周波.矿产地质勘查的基本特点和工作思路构建[J].科技与创新,2014(11):150-153.

- ZHOU Bo. The basic characteristics of mineral exploration and geological work ideas to bund[J]. Science and Technology & Innovation, 2014(11):150, 153.
- [3] 宋恭俭, 程华斌. 基于层次分析法的公路路域生态环境影响评价方法研究[J]. 城市道桥与防洪, 2016(1):180-182.
SONG Gongjian, CHENG Huabin. Research on eco-environmental impact assessment method of highway domain based on analytic hierarchy process[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2016(1):180-182.
- [4] 罗先香, 朱永贵, 张龙军, 等. 集约用海对海洋生态环境影响的评价方法[J]. 生态学报, 2014, 34(1):182-189.
LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al. The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1):182-189.
- [5] 赵生祥. 高质量发展和高品质生活在青海的实践[J]. 青海师范大学民族师范学院学报, 2020, 31(1):54-58.
ZHAO Shengxiang. The practice of high quality development and high quality life in Qinghai Province[J]. Journal of Minorities Teachers College of Qinghai Teachers University, 2020, 31(1):54-58.
- [6] 周侯伯, 肖桂荣, 肖爱芳. 基于加权信息量法的福州地区地热资源模型构建[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2021, 49(6):863-871.
ZHOU Houbo, XIAO Guirong, XIAO Aifang. Construction of model geothermal resource in Fuzhou Area based on weighted information method[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2021, 49(6):863-871.
- [7] 王志云. 水利工程施工建设对生态环境的影响探析[J]. 水利科学与寒区工程, 2020, 3(4):171-173.
WANG Zhiyun. The influence of water conservancy project construction on ecological environment[J]. Hydro Science and Cold Zone Engineering, 2020, 3(4):171-173.
- [8] 龚围, 李丽, 柳钦火, 等. “一带一路”区域水电站工程生态环境影响遥感监测[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(7):1424-1436.
GONG Wei, LI Li, LIU Qinhuo, et al. Monitoring and analyzing ecosystem impact on hydropower projects by remote sensing in the Belt and Road region[J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(7):1424-1436.
- [9] 薛强, 路路, 牛韧, 等. 基于地质灾害敏感性的生态安全格局关键区识别与修复:以济南市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22):9050-9063.
XUE Qiang, LU Lu, NIU Ren, et al. Identification and restoration of key areas of ecological security pattern based on sensitivity to geological disasters: a case study of Jinan City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(22):9050-9063.
- [10] 刘林通, 孟兴民, 郭鹏, 等. 基于流域单元和信息量法的白龙江流域泥石流危险性评价[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2017, 53(3):292-298, 308.
LIU Lintong, MENG Xingmin, GUO Peng, et al. Assessment of debris flow hazards in the Bailongjiang River based on the watershed unit and information value method[J]. Journal of Lanzhou University, Natural Sciences, 2017, 53(3):292-298, 308.
- [11] 邓辉, 何政伟, 陈晔, 等. 信息量模型在山地环境地质灾害危险性评价中的应用:以四川泸定县为例[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(2):67-76.
DENG Hui, HE Zhengwei, CHEN Ye, et al. Application of information quantity model to hazard evaluation of geological disaster in mountainous region environment: a case study of Luding County, Sichuan Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(2):67-76.
- [12] ABDEL Z M, ELBARBARY S, EL-SHAHAT A, et al. Geothermal resources in Egypt integrated with GIS-based analysis[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2018, 365:1-12.
- [13] 陈广洲, 徐晓春, 汪家权. 一种信息量和专家证据权重耦合的成矿预测方法[J]. 测绘科学, 2013, 38(1):146-149.
CHEN Guangzhou, XU Xiaochun, WANG Jiaquan. A method for metallogenic diagnosis based on coupling of prospecting-information contents and expert weight of evidence model[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013, 38(1):146-149.
- [14] CARRANZA E J M. Weights of evidence modeling of mineral potential: a case study using small number of prospects, Abre, Philippines[J]. Natural Resources Research, 2004, 13(3):173-183.
- [15] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1):89-92.
RUAN Shenyong, HUANG Runqiu. Application of GIS-based information model on assessment of geological hazards risk[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(1):89-92.
- [16] 李郎平, 兰恒星, 郭长宝, 等. 基于改进频率比法的川藏铁路沿线及邻区地质灾害易发性分区评价[J]. 现代地质, 2017, 31(5):911-929.
LI Langping, LAN Hengxing, GUO Changbao, et al. Geohazard susceptibility assessment along the sichuan-tibet railway and its adjacent area using an improved frequency ratio method[J]. Geoscience, 2017, 31(5):911-929.
- [17] 陈立华, 李立丰, 吴福, 等. 基于 GIS 与信息量法的北流市地质灾害易发性评价[J]. 地球与环境, 2020, 48(4):471-480.
CHEN Lihua, LI Lifeng, WU fu, et al. Evaluation of the geological hazard vulnerability in the Beiliu City based on GIS and information value model[J]. Earth and Environment, 2020, 48(4):471-480.
- [18] 李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中网格大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2):86-92.
LI Jun, ZHOU Chenghu. Appropriate grid size for terrain based landslide risk assessment in lantau island, Hong Kong[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2003, 7(2):86-92.
- [19] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1):1-28.
PAN Guitang, XIAO Qinghui, LU Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1):1-28.

2020-01-21/2020-02-28.

- [6] 任大伟,徐小华,梁亚敏,等. 煤矿井下作业疲劳影响因素及对策研究[J]. 煤矿安全,2019,50(3):231-234.
REN Dawei,XU Xiaohua,LIANG Yamin,et al. Study on influence factors and countermeasures of underground work fatigue in coal mine[J]. Safety in Coal Mines,2019,50(3):231-234.
- [7] 张俭让,黄玉鑫,闫振国,等. 煤矿安全生产标准化信息管理系统设计[J]. 工矿自动化,2019,45(12):81-85.
ZHANG Jianrang,HUANG Yuxin,YAN Zhenguo,et al. Design of standardized information management system for coal mine safety production[J]. Industry and Mine Automation,2019,45(12):81-85.
- [8] 李树刚,马莉,杨守国. 互联网+煤矿安全信息化关键技术及应用构架[J]. 煤炭科学技术,2016,44(7):34-40.
LI Shugang,MA Li,YANG Shouguo. Key technologies and application framework of Internet+coal mine safety informationization[J]. Journal of Coal Science and Technology,2016,44(7):34-40.
- [9] 郑丽. 安全生产风险管控信息系统研究及设计[J]. 煤炭工程,2017,49(11):136-138.
ZHENG Li. Research and design of safety production risk management information system[J]. Coal Engineering,2017,49(11):136-138.
- [10] 刘双跃,杨蕾,彭丽. 基于改进 Apriori 算法的煤矿物态隐患系统设计与应用[J]. 煤炭技术,2015,34(4):318-320.
LIU Shuangyue,YANG Lei,PENG Li. Design and application of coal mine state hidden danger system based on data mining[J]. Coal Technology,2015,34(4):318-320.
- [11] 孙继平. 煤矿信息化与自动化发展趋势[J]. 工矿自动化,2015,41(4):1-5.
SUN Jiping. Development trend of coal mine informationization and automation[J]. Industry and Mine Automation,2015,41(4):1-5.
- [12] 莫绍强,刘江林. 基于计算机信息系统的煤矿管理应用[J]. 煤炭技术,2014,33(3):209-211.

MO Shaoqiang,LIU Jianglin. Application of coal mine management based on computer information system[J]. Coal Technology,2014,33(3):209-211.

- [13] 高晓旭,申阳阳,门鸿. 煤矿双重预防机制信息系统研究与应用[J]. 煤炭科学技术,2019,47(5):156-161.
GAO Xiaoxu,SHEN Yangyang,MEN Hong. Research and application of coal mine double preventive mechanism information system[J]. Coal Science and Technology,2019,47(5):156-161.
- [14] 雷五洲. 香山矿安全管理信息化平台的建设及应用[J]. 煤矿安全,2016,47(8):255-256.
LEI Wuzhou. Construction and application of Xiangshan Mine safety management information platform[J]. Safety in Coal Mines,2016,47(8):255-256.
- [15] 徐晓建. 煤矿安全风险防控及预警系统设计[J]. 工矿自动化,2020,46(3):105-108.
XU Xiaojian. Design of coal mine safety risk prevention and control and early warning system[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(3):105-108.
- [16] 匡向阳,张玲. 基于 Hadoop 的 FP-Growth 关联规则并行改进算法[J]. 计算机应用研究,2018,35(1):109-112.
SHE Xiangyang,ZHANG Ling. Parallel improved algorithm of FP-Growth association rules based on Hadoop[J]. Application Research of Computers,2018,35(1):109-112.
- [17] ZHENG F P,ZHAO X Y,LI Y F,et al. Based on FP-Growth algorithm to excavate medication rule of Chinese material medica for radiation esophagitis[J]. World Journal of Integrated Traditional and Western Medicine,2020,6(7):31-38.
- [18] 文芳,黄慧玲,李腾达,等. 基于 FP-growth 关联规则的图书馆数据快速挖掘算法研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2020,34(6):189-194.
WEN Fang,HUANG Huiling,LI Tengda,et al. Research on library data fast mining algorithm based on FP-Growth association rules[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science),2020,34(6):189-194.

化分析[J]. 测绘通报,2020,49(4):106-110.

LI Naiqiang, XU Guiyang. Grid analysis of land use based on natural breaks (Jenks) classification[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2020,49(4):106-110.

- [23] 付晓. “新工科”背景下中国高校国际化人才培养路径探索[J]. 中国石油大学学报(社会科学版),2017,33(6):97-102.
FU Xiao. Exploration of international talents cultivation in chinese universities: under new engineering education[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Social Sciences),2017,33(6):97-102.

(上接第 54 页)

- [20] 侯增谦,潘桂棠,王安建,等. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质,2006,25(5):521-545.
HOU Zengqian,PAN Guitang,WANG Anjian,et al. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. Mineral Deposits,2006,25(5):521-545.
- [21] 徐志刚,陈毓川,王登红,等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社,2008.
- [22] 李乃强,徐贵阳. 基于自然间断点分级法的土地利用数据网格