

基于 GIS 多准则空间分析(SMCE)的 青海省矿产资源开发地质环境脆弱性评价

张丽君^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 国土资源部信息中心, 北京 100812)

摘要:青海省具有丰富的矿产资源,其可持续发展战略与规划应建立在对地质环境脆弱性评价的基础上。笔者通过分析青海省环境地质问题和地质灾害发育的基本规律,建立了青海省未来矿产资源开发的地质环境脆弱性评价的框架。提出了地质环境脆弱性评价的基本准则和地质评价指标。在荷兰国际地球科学测量与观测学院(ITC)开发的 GIS 软件——ILWIS 环境下,利用其新开发的空间分析功能的 SMCE 模块,对青海省的地质环境脆弱性进行了评价。结果表明,具有矿产资源远景开发的地区地质环境比较脆弱,对未来的矿产资源开发有着较大的制约作用。

关键词:地质环境;脆弱性评价;GIS 多准则空间分析(SMCE);矿产资源开发

中图分类号:X141 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)03-0518-06

人类的生存和发展离不开地球,地球为人类提供了多种资源,但由于矿产资源的不合理开发利用,也会诱发一系列环境地质问题。青海省矿产资源丰富,其主导矿产资源有钾镁盐、石棉、铅-锌矿、金矿、石英、铜、石油和天然气、铍、锂等。在柴达木盆地有丰富的盐和金属矿,占国家矿产储量 99% 以上的镁盐、96% 以上的钾盐、80% 锂以及 50% 的铍和石棉都分布在该盆地中。因此,青海省矿产资源的开发将不仅对国家的经济和社会发展起着十分重要的作用,也有利于本地区的社会发展。但资源的开发不能以牺牲环境为代价,否则,会影响本地区的可持续发展。因此,青海省的矿业发展必须建立在可持续发展的基础上。开展地质环境脆弱性评价具有十分重要的现实意义和深远的长久发展意义。它是开展青海省区域发展规划的基础,是将矿产资源开发计划纳入青海省国土开发和区域经济社会发展总体规划之中的前提和保障。同时,开展地质环境脆弱性评价也可为环境管理、土地规划和地质灾害防治提供依据,了解不同区域或不同经济发展过程中地质环境的基本态势,鉴别目前和潜在在经济发展过程中与地质环境之间的矛盾,预警和预报地质环境问题。

中国经济保持着持续高速增长,人类工程活动的周期大大缩短,快速、合理地评价预测区域地质环境与地质灾害,进行危险性区划的需求十分迫切。采用传统技术手段已不能适应快速反应的需求。具有搜集、存取、集成、处理、分析和显示定位地球空间数据功能的地理信息系统(GIS),将在这方面具

有广阔的应用前景。其强大的数据库和空间分析功能,可及时提供地质环境动态变化信息,快速地为决策部门提供实用化成果。在国外,GIS 已在水资源评价与管理、环境影响评价与污染防治、土地利用规划、自然灾害的评价与风险管理^[1-2]等领域获得了广泛的应用,为政府部门与用户提供决策支持服务。国内应用 GIS 技术开展地质灾害研究工作起步较晚,但起点较高。例如,沈方等^[3]采用基于 GIS 技术的信息量模型对金沙江某工程近坝库区的区域地质环境进行的分析评价和地质灾害空间预测。闫满存等^[4]开展了基于 GIS 的广东沿海陆地地质环境质量评价研究。但目前尚无建立较成熟实用的用于地质环境与地质灾害综合评价预测的 GIS 的评价技术路线和方法体系。

1 青海省的地质环境背景与主要环境地质问题

青海省位于青藏高原东北部,面积 720 000 km²,平均海拔 3 000 m,多风少雨,年降水量自东向西从 700 mm 递减为 25 mm。年蒸发量自西部柴达木盆地向东从 3 000 mm 递减为 1 750 mm。青海省受印度板块与欧亚板块碰撞的影响,新构造运动强烈,中强地震多发,又处于西风、东部季风及南部季风的交汇部位,再加上松散的半胶结地层广泛分布,由此决定了地质环境极其脆弱。受地形地貌、地质和气候条件的共同制约,青海省环境地质问题和地质灾害的分布形成 3 个具有明显差异的地质环境区:(1)南部高原与祁连山地多年冻

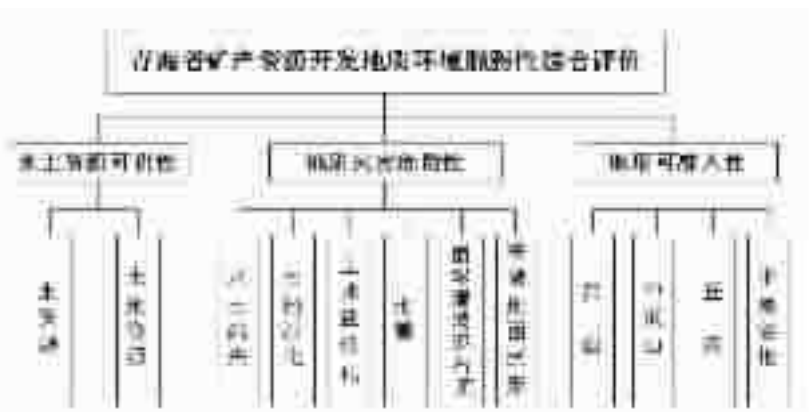


图 1 青海省矿产资源开发地质环境脆弱性综合评价层次结构图

Fig.1 Hierarchical structure of geo-environment vulnerability assessment for mineral development in Qinghai Province

表 1 地质环境脆弱性评价指标强度分级

Table 1 Intensity classification of geo-environmental vulnerability assessment indicators

评分标准	强烈	中等	轻微	不发育
环境地质问题	10	5	2	0
地震	裂度>10级	裂度 10~8级	裂度 8~6级	裂度<6级
崩塌、滑坡、泥石流	规模大、频发种类多	规模中等、频次较高, 偶有大型崩滑流发生	规模小, 偶有中型崩滑流发生, 种类单一	偶有小规模崩滑流发生或基本没有
冻融地面变形	规模大	规模较大	规模小	基本没有
水土流失	表土大部分流失	表土明显流失, 地面有纹沟	表土流失面积<20%	无明显侵蚀
土地沙化	戈壁沙漠, 流动沙丘连片	发展中沙漠化, 斑状分布流沙与斑状固定沙丘交错	潜在沙漠化, 有零星小面积流沙分布	基本无沙化现象
土地盐渍化	有残余盐土及盐壳	次生盐渍化土大片分布	次生盐渍化土零星状分布	无盐渍化现象
水资源贫乏度	地表水径流深<50mm, 地下水开采模数<1万 m ³ /a.km ²	地表水径流深 50~400mm, 地下水开采模数 1~5万 m ³ /a.km ²	地表水径流深 400~900mm, 地下水开采模数 5~15万 m ³ /a.km ²	地表水径流深>900mm, 地下水开采模数>15万 m ³ /a.km ²
土地资源贫乏度	高寒山区及荒漠	宜林山地	宜牧草原	宜农耕地
地形不可准入性	高山	中低山	台原、丘陵、盐壳	谷地、盆地和山前平原

土冻融区。由冻融形成的冰锥、冰丘、冻胀丘、道路翻浆, 雪崩, 热融滑塌和沉陷, 融冻泥石流等不良地质现象和地质灾害发育; 全省多年冻土分布面积约为 40 多万平方千米, 主要分布在青海南部唐古拉—昆仑山之间的高原与青海北部的祁连山地区。(2) 干旱荒漠作用为主的柴达木—共和盆地风沙与地下水水位上升区。该区发育风沙、地下水水位上升、土地次生盐渍化等地质灾害。土地沙化灾害主要分布在柴达木盆地山前地带、共和—桂南盆地及青海湖的东北部, 以格尔木、诺木洪、都兰最为严重。土地次生盐渍化灾害主要分布在绿洲平原。(3) 东部流水作用为主的崩塌、滑坡、泥石流区。主要集中在湟水流域黄土发育区。该区为滑坡、崩塌、泥石流多发区, 黄土塌陷、河湖水库塌岸等地质灾害发育, 水土流失严重。在各类灾害中, 尤以滑坡灾害最为严重。

综上所述, 根据对青海省环境地质问题(或地质灾害)的发育特点以及对本地区社会经济的影响程度的分析, 确定了本次青海省矿产资源的环境地质(或地质灾害)的脆弱性评价的主要指标, 即水土流失、土地沙化、盐渍化、地震、崩塌—

滑坡—泥石流、冻融地面变形。

2 青海省地质环境评价准则及评价指标

地质环境的脆弱性取决于自然地质条件和人类活动的强度, 即自然地质条件的稳定性、原生地球化学背景以及受人类活动干扰与破坏程度等因素。这些因素综合作用的结果表现为发生的或潜在的环境地质问题/地质灾害^[9]。一个地区发生的环境地质问题/地质灾害多且强度大, 表明该地区地质环境脆弱性大; 反之, 如果一个地区没有出现或出现少数环境地质问题/地质灾害且其发育强度弱, 则表明该地区地质环境脆弱性小。

地貌条件也直接影响着一个地区地质环境的脆弱性水平。地貌条件是由区域大地构造背景所控制。在强烈隆起的山地, 地质构造活动强烈, 引发一系列环境地质问题与地质灾害, 特别是在青海南部高原与祁连山地区多年冻土冻融区尤为突出。十分发育的山地冻融灾害给矿产资源开发和工程建设与交通带来了极大的困难和严重的经济损失。因此, 地貌条件

直接关系到青海省矿产资源开发利用的安全性和准入条件。

青海省矿产资源开发的重要条件是水资源和土地资源的支撑。因此,在考虑区域地质环境脆弱性评价时,必须考虑本地区的水资源和土地资源的可供性。显然,水资源和土地资源有重要保障的地区,矿产资源开发的地质环境最理想;反之,矿产资源的开发将得不到可持续发展的根本保障。

根据以上认识,确定以下评价准则:

(1)本次在进行青海省矿产资源开发的地质环境脆弱性评价时,主要考虑了环境地质问题/地质灾害的危险性、地貌条件的安全准入性以及水土资源的可供性三大准则。每个准则中的地质环境脆弱性评价指标由图1示出。

(2)影响青海省地质环境脆弱性的三方面要素的综合,体现了该地区地质环境系统总体脆弱性水平。

(3)根据青海省不同地质环境脆弱性评价指标的已发生的和可能发生的主要环境地质问题及其分布、发育强度,作为评价地质环境脆弱性的基础;将它们量化成不同等级的强度指数,分别将它们划分为4个等级,每一个等级赋予一个相应的强度量值,以表示地质环境脆弱性评价指标发育强度的相对差异(表1)。

3 基于GIS空间分析的青海省区域地质环境脆弱性综合评价

本文地质环境脆弱性评价指标的数据主要来源是已出版的青海省地貌图、各类地质灾害图、水资源图以及土地利用图等各类相关图件^[6,7]。对图1所示的层次结构中每个地质环境脆弱性评价指标不同等级(表1)进行0-1标准化。然后,根据每个地质评价指标的标准化分数,生成每个指标的属性图(表2-3)。再根据每个属性图的统计图表(histograms)及青海省地质环境的特点,给出地质评价指标的相对排序(表4)。在荷兰地球科学测量与观测学院开发的GIS软件——ILLWIS环境下^①,首先创建权重树,利用空间多准则评价(SMCE)模块中两两比较法(Pairwise)以及排序方法(Ranking)^②,计算出评价指标的权重(表5)。最后,将每个地质指标属性图与权重树相链接,对图层进行叠加运算(运行SMCE),便可得到中间评价图——地形可准入性图、地质灾害危险性图、水土资源可供性图。将这3个属性图以等权重进行叠加,获得最终的地质环境脆弱性图(图2)。不同指标图层的叠加按下列公式^③可获得每个单元的平均分数:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

表2 不同地质环境脆弱性评价属性图的分级统计

Table 2 Statistics of classification for vulnerability assessment attribute maps of different geo-environments

	I级/%	II级/%	III级/%	IV级/%
地形可准入性	33.87	12.67	33.3	20.16
土地资源可供性	1.37	1.54	75.80	21.3
水资源可供性	4.35	16.89	38.74	40.03
土地沙漠化	13.07	12.46	68.33	6.14
冻土地面变形	37.2	0.00	0.89	61.91
水土流失	32.92	35.13	12.88	19.07
崩塌、滑坡、泥石流	17.97	65.40	13.47	3.16
土地盐渍化	71.57	14.62	8.31	5.50
地震	20.03	78.65	1.26	0.06

注:青海省总面积为720000km²。

表3 不同地质环境脆弱性等级的分布面积

Table 3 Areas of different geo-environmental vulnerability grades

级 别	分布面积	
	/km ²	/%
I 地质环境脆弱性小(0.0~0.3)	91440	12.7
II 地质环境脆弱性较小(0.3~0.4)	180000	25.0
III 地质环境脆弱性中等(0.4~0.5)	187200	26.0
IV 地质环境脆弱性较大(0.5~0.7)	208080	28.9
V 地质环境脆弱性大(0.7~0.9)	53280	7.4

表4 根据属性图的统计图表分析得出的地质指标排序

Table 4 Rank order of geoindicators based on histograms of attribute maps

灾害危险性	类别3和类别4的累计百分比		排序
	/%		
沙漠化	74.47		1
冻融地面变形	61.91		2
水土流失	41.95		3
崩塌、滑坡、泥石流	27.63		4
土地盐渍化	13.81		5
地震	1.32		6
水土资源可得性			
水资源	78.77		1
土地资源	97.10		2

表5 根据SMCE of ILWIS确定的

青海省地质环境脆弱性评价指标权重

Table 5 Weights of assessment geoindicators of Qinghai geo-environmental vulnerability based on SMCE of ILWIS

水土资源可得性	水资源可得性	0.33
	土地资源可得性	0.67
地质灾害危险性	水土流失	0.16
	土地沙化	0.41
	土地盐渍化	0.06
	地震	0.03
	崩塌、滑坡、泥石流	0.10
	冻融地面变形	0.24

① ILWIS 3.0 Academic User's Guide, ITC, 2001.

② Ali Sharifi, Marjan van Herwinen, Spatial Decision Support System, ITC, 2003.

③ Handout of elective course Module 9—Spatial Decision Support Systems and Multi Criteria Evaluation Technique, ITC, 2003.

这里 s_i 是某个评价单元的权重分数, W_i 是 i 指标的权重, S_{ij} 是 i 指标 j 级别的分数。

4 结果讨论

青海省地质环境脆弱性评价的统计结果(表 3)表明, 该省地质环境脆弱性较小和小的地区, 占全区面积 37.7%; 地质环境脆弱性中等的地区占 26%; 地质环境脆弱性较大和大的地区占 36.3%。由此可见, 总体上青海省区域地质环境脆弱性较大, 这意味着地质环境条件将大大制约青海省的社会经济发展, 特别是矿产资源的开发。在具有矿产开发前景的昆仑山区(I3)、北祁连山区(I1)、柴达木北缘地区(II1)以及拉积山(II2)区^①, 地质环境脆弱性普遍较大, 水土资源短缺, 地形准入条件差。在蕴藏着丰富矿产资源的柴达木盆地, 即便总体上地质环境脆弱性较小, 但随着钾盐和铅锌矿等矿产资源的不断开采, 以及其他人类活动强度的增强, 地质环境已经呈现出不断恶化的趋势。在黄河和长江的源头地区, 地质环境

脆弱性较小, 但当地居民开采砂金矿非常普遍, 对中国冻土地区的地质环境造成的影响不容忽视, 如不加控制, 后果将不堪设想。

5 结论和建议

(1) LIWIS 软件的 SMCE 功能适宜于建立在层次结构基础上的区域地质环境脆弱性评价。在本次研究中, 选择了 3 方面准则, 9 个地质评价指标。在多准则空间分析(SMCE)理论的指导下, 在 ILWIS 环境下, 运行 SMCE 模块, 可以非常方便、快捷地获得区域地质环境的空间分析评价结果。同时也可以得到并显示中间图层的运算结果。

(2) 本次研究结果表明, 青海省具有矿产资源开发远景的地区, 其地质环境脆弱性普遍较大。因此, 未来青海省矿业及矿业城市的发展一定要做好规划工作, 其发展规模一定要与地质环境的容量相匹配。努力实现矿产资源开发、环境保护、经济发展以及社会发展之间的协调发展。建议将矿产资源开发以及其他专项开发计划纳入青海省区域发展总体规划之

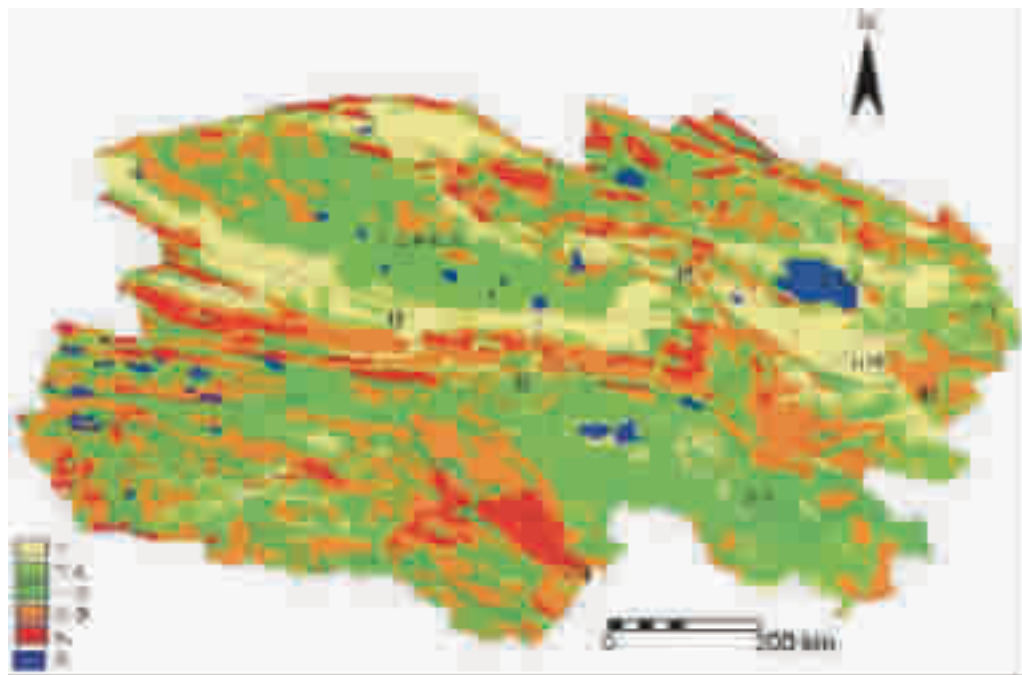


图 2 青海省地质环境脆弱性综合评价图

注: I1—北祁连山多金属矿一级远景开发区; I2—巴颜喀拉周边金矿一级远景区; I3—昆仑山东部多金属矿一级远景开发区; II1—柴达木北缘多金属矿二级远景区; II2—拉积山多金属矿二级远景区

Fig.2 Map showing geo-environmental vulnerability assessment in Qinghai Province

I1— First-class polymetallic mineral potential target area of the northern Qilian Mountains; I2— First-class gold potential target area of surrounding areas of Bayan Har; I3— First-class polymetallic mineral potential target area of the eastern Kunlun; II1— Second-class polymetallic mineral potential target area of the northern margin of the Qaidam basin; II2— Second-class polymetallic mineral potential target area of the Laji Mountains

① 王洁民, 刘家铎, 张光第. 青藏高原贵重、有色金属等矿产资源前景分析. 成都地质研究所, 2000.

中,统筹考虑社会、经济、环境(包括地质环境)各方面因素,制定出可持续发展的战略规划,并将该规划落到实处。

(3)在干旱和半干旱的青海省,城市化进程已经引起了地质环境的恶化,并呈加速发展态势。人类活动主要集中在沙漠绿洲地带,狭长的河流谷地平原以及山间盆地中。在这些地区地质环境的容量有限,因此,今后的城镇化和基础设施建设要充分考虑地质环境条件。

(4)建议建立地质环境监测系统,建立适宜于本地区地质环境监测和评价的指标体系。这是进行地质环境评价的基础和依据。

(5)为了促进西部地区国民经济的可持续发展,在矿产资源开发之前进行环境影响评价十分重要。

参考文献 (References):

- [1] Hiscock K M, Lovett A A, Brainard D G, et al. Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1995, 28:179~194.
- [2] Mejia-Navarro M, Garcia L A. Natural hazard and risk assessment using decision support systems, application: Glenwood Springs, Colorado [J]. Environment & Engineering Geoscience, 1996, 2(3): 299~324.
- [3] 沈方,黄润秋,苗放,等. 区域地质环境评价与灾害预测的 GIS 技术 [J],山地学报,1999, 17(3): 338~342.
Shen Fang, Huang Renqiu, Miao Fang, et al. Regional geo-environmental evaluation and geohazards prognosis with GIS [J]. Journal of Mountain, 1999, 17 (3):338~342. (in Chinese with English abstract)
- [4] 闫满存,李华梅,王光谦. 广东沿海陆地地质环境质量定量评价研究 [J]. 工程地质学报,2000,8(4):416~425.
Yan Mancun, Li Huamei, Wang Guangqian. Quantitative assessment of geo-environmental quality of the land along Guangdong coast [J]. Journal of Engineering Geology, 2000,8 (4):416~425 (in Chinese with English abstract).
- [5] 毛同夏,石宏仁,张丽君. 区域地质环境质量的定量评价与预测 [J]. 地学前缘,1996,3(1):141~147.
Mao Tongxia, Shi Hongren, Zhang Lijun. Regional geo-environmental quantitative assessment and prediction [J]. Journal of Earth Science Frontiers, 1996, 3(1):141~147 (in Chinese with English abstract).
- [6] 中国地质环境监测院. 中国环境地质图系(1:6 000 000) [M]. 北京: 中国地图出版社,1992(in China with English abstract).
China Institute of Geo-Environmental Monitoring Series of Environment Geology Map of China (1:6 000 000) [M]. Beijing: China Cartographic Publishing House, 1992(in Chinese).
- [7] 中国科学院地理科学与资源研究所. 青藏高原地图集(1:5 000 000) [M]. 北京: 中国地图出版社,1990.
Institute of Geographic Science and Nature Resources Research of Chinese Academy of Science Atlas of Tibet Plateau,1:5 000 000[M]. Beijing: China Cartographic Publishing House,1990(in Chinese).

Application of GIS-based spatial multi-criteria evaluation (SMCE) in the geo-environment vulnerability assessment for the development of mineral resources in Qinghai Province

ZHANG Li-jun

(1. Northeast institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, Jilin, China;

2. Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: There are plentiful mineral resources in Qinghai Province, China. The sustainable development strategy and planning of the mineral resources should be worked out on the basis of the geo-environment vulnerability assessment. This paper analyzes the geo-environment issues and geo-hazards in Qinghai. The assessment framework of the geo-environment vulnerability in Qinghai was established. The basic assessment principles, criteria and geological indicators for the geo-environment vulnerability were proposed under this framework. The geo-environment vulnerability evaluation in Qinghai was carried out by using the new SMCE function modules of ILWIS, which is a GIS software developed by ITC. The results indicate that the prospect areas of mineral resources are located in areas of low geo-environment vulnerability. This means that geo-environmental conditions have major constraining effects on the future mineral development in Qinghai.

Key words: geo-environment; vulnerability assessment; GIS-based spatial multi-criteria evaluation (SMCE); mineral development

About the author: ZHANG Li-jun, female, born in 1963, senior researcher, Ph.D candidate, main research interests are the strategies of resources and environment; E-mail: lijunzhang@infomail.mlr.gov.cn.