

矿产资源开发的生态地质环境风险研究 ——以甘孜州东部为例

赵银兵^{1,2}, 何政伟^{1,2,3}, 倪忠云^{1,2}, 南希^{1,2}, 赵勇¹

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 3. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037)

摘要: 甘孜州东部是我国矿产资源富集区和生态地质环境脆弱区之一, 生态地质环境承载力呈现出南优北差、西优东差的格局。据矿业历史及现状影响, 建立承载力—矿业活动关系模式, 将承载力分为正荷载、等荷载和超荷载三种状态。采用生态地质环境危险性与潜在损失承载力求积运算的方式获取风险值, 并进行四级风险区划。风险空间分布大体呈现出东高西低、北高南低的形态, 矿业活动区及其缓冲区、小流域、大流域都处于风险联动的系统内, 风险区划与承载力区划成正相关关系。针对生态地质环境风险提出加强小矿有序开发、加强勘查和开发过程管理、提高矿产资源利用效率、构建监测系统和加强矿山环境问题治理等应对措施。

关键词: 生态地质环境; 承载力; 风险; 矿产资源开发; 甘孜州东部

中图分类号: X141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2010)02-0207-07

甘孜州地处三江成矿带和康滇黔成矿带的北段, 是我国矿产资源勘查与开发的九大热点地区之一。区内贵金属、稀有金属、有色金属和特种非金属矿产资源优势在西部地区非常突出, 被誉为继“攀西地区”之后西部最重要的矿产资源富集区之一, 国家和四川省第二轮矿产资源规划将该地区规划为国家级矿产资源接替区, 将之逐步发展成为国家级大型矿业基地, 而甘孜州东部又是全州矿业优先发展的区域。同时, 该区作为长江上游生态保护屏障, 生态地质环境脆弱, 矿区与自然保护区的缓冲区、外围区存在许多交叉重叠, 矿产资源开发和环境保护的协调难度极大。面对矿业开发的巨大机遇和生态地质环境保护的重大挑战, 解决之路在于探究区内生态地质环境风险, 制定防治对策, 实现生态地质环境可持续承载下的矿产资源可持续开发。

1 生态地质环境风险

生态地质环境风险系一个组合概念, 包括生态

地质环境、承载力和风险等内容。20世纪30年代, K. Tsoll 将地质生态学定义为环境系统的构成部分, 研究自然和人类活动影响下地质圈变化。俄美等国自20世纪80年代起开展了流域、农业等方面的大、中比例尺地质生态专项调查。部分学者在实践工作中提出地质科学和环境科学的交叉学科——环境地质学, 主要研究地质和环境的基本特征、功能和自身演变规律, 为矿产资源开发和地质环境保护提供地学依据^[1-4]。陈梦熊和黄润秋等人将地质环境系统、自然环境系统和社会经济系统三者视作统一的动力系统, 即地质生态环境系统^[5,6]或生态地质环境系统^[7-11], 因语言习惯常采用生态地质环境系统。承载力源自土力学和工程地质学概念, Park 和 Burgess(1921)定义承载力为“某一特定环境条件下, 某种个体存在数量的最高极限”。Odum(1953)在《生态学原理》中赋予承载力较精确的数学形式, 这之后因资源耗竭和环境恶化等全球性环境问题的爆发, 引起了地球承载力的广泛研究。日本学者(1968)将环境容量引入到环境科学中, 成为

收稿日期: 2009-10-09; 改回日期: 2010-04-13

基金项目: 国家自然科学基金(40972225)、国家科技支撑“十一五”计划(2008BAK49B02)、国家863重点项目(编号: 2007AA120306)、四川省杰出青年学科带头人培养计划项目(06ZQ026-014)、四川省教育厅自然科学重点项目(2006A116)

第一作者简介: 赵银兵(1978-), 男, 讲师, 博士, 主要从事生态遥感及GIS应用研究。E-mail: 108578513@qq.com

环境承载力的理论雏形,并伴随人们对环境系统与人类社会作用关系认识加深而不断发展。1995 年,诺贝尔经济学奖获得者 Arrow 等人在《Science》上发表了“经济增长、承载力和环境”一文,引起人们对环境承载力的进一步关注,此后环境承载力理论及实例研究的成果不断涌现^[12-21]。国内学者于 20 世纪 90 年代初开始研究生态承载力,并针对不同部门和专业提出了土地、水利、畜牧和旅游等资源及生态环境承载力概念。研究特别指出资源承载力是生态承载力的基础条件,环境承载力是生态承载力的约束条件,生态弹性力是生态承载力的支持条件^[22,23]。钱易等院士建议在西部要根据环境承载力合理布局生产力,走可持续发展道路^[24]。陈洲其等强调重视国土规划与资源环境承载力评价,建议开展重要区域环境地质综合调查评价和科学研究^[25]。综上认识,可将生态地质环境承载力进一步概括为:在特定的时间和特定的区域,生态地质环境系统及其子系统、要素对特定生产力水平的人类活动的响应程度及自身修复能力。

矿业活动正是依托特定生态地质环境背景的特殊人类活动,因资源禀赋及环境差异,当不同区域的矿业活动与生态地质环境承载力不匹配时,就会产生各种影响环境系统及矿业活动正常运行的事件,造成不同形式、期次、过程的潜在损失,当这种潜在损失对生态地质环境的组成要素及经济活动产生某种影响时,即为生态地质环境风险,主要采用生命、健康、财产或环境的损失可能性大小和程度来衡量^[26],可表达为“生态地质环境风险 = 危险性 × 潜在价值损失”。

2 生态地质环境承载力

2.1 研究区矿产资源概况

研究区包括甘孜州东部六县,最低海拔约 1000 m,最高 7556 m(贡嘎山),平均海拔 3922 m,雅砻江和大渡河两大水系近南北向展布,地貌分为高原、山原、高山峡谷三类。因地处雅江成矿带,成矿条件优越,已发现有金、银、锂、铍、铌、铜和铅锌等 60 多个矿种,蕴藏量巨大。区内 2007 年有固体矿山 74 个,主要分布在断裂带和峡谷区;开发地热 5 处,主要分布在海螺沟黄金旅游线路上;康定、九龙、丹巴和泸定开发程度相对较高,道孚和雅江开发程度相对较低。区内的矿产资源综合利用程度在四川处于落后水平,一方面浪费资源,另一方面对矿山及周围的生态地质环境造成持久影响,区内沿地貌边界是崩塌、滑坡和泥石流等群发性地质灾害的高发地带^[27]。

2.2 生态地质环境承载力区划

根据生态地质环境承载力的内涵与外延,将其分为地质环境、生态环境和社会环境三个子系统,地质环境是基础,生态环境是表现,社会环境是作用主线。根据对研究区环境及矿业活动规律的认识^[26-29],采用综合性原则、主导因素原则、限制性原则、层次性原则、定性和定量评价相结合的原则^[4,30,31],通过目标分析法构建适合川西地区的生态地质环境承载力评价指标体系,将其划分为三个层次,应用信息技术遴选并获取 15 个基础评价指标信息(图 1),采用多源数据实现生态地质环境承载力分区。各级承载力概况(表 1)表明:承载力是各要素多期次、综合性作用的结果,矿业活动作为环境的要素及影响对象;承载力空间分布为南优北差、西优东差;承载力单元展布方向大致为北西和北东;各级别承载力之间的顺次过渡或跳跃式过渡严格受断裂控制(图 2)。

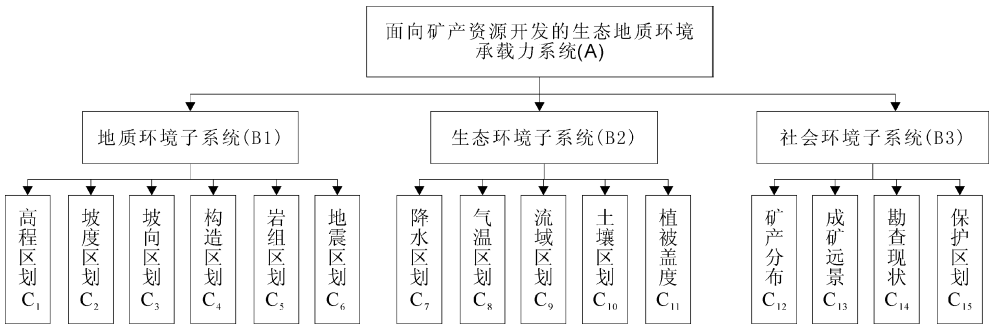


图 1 评价指标体系

Fig. 1 The evaluation index system

表 1 生态地质环境承载力分区概况

Table 1 The division overview of eco-geological environmental carrying capacity

项目	承载力分级			
	承载力优	承载力良	承载力中	承载力差
分布区域	九龙大部、雅江西北和东南部、康定以东、泸定以南	康定中部、九龙北部、丹巴西部、雅江大部	鲜水河断裂带控制区	鲜水河、玉农希和泥曲—玉科断裂控制区海拔极高处
高程(平均高程 m)	< 2500 m	< 3000 m	< 5000 m	> 4500 m
坡度(平均坡度 °)	< 25 °	< 35 °	< 46 °	> 48 °
坡向(三类划分)	平地、阴坡	阴坡	阴坡、阳坡	阳坡
构造(主控构造级别)	次级断裂为主	次级断裂	主断裂	大断裂
工程地质岩组	坚硬岩组	坚硬—半坚硬岩组	半坚硬岩组	软弱岩组
地震(动峰值加速度)	< 0.1 g	0.1 ~ 0.2 g	> 0.2 g	> 0.2 g
降水(年降水量 mm)	> 880	800 ~ 880	720 ~ 800	< 720
气温(年均气温 °C)	12 ~ 13	11 ~ 13	> 13	< 11
流域(按县域分段)	雅砻江 (九龙段、大渡河)	雅砻江 (道孚—雅江段)	大渡河(康定段)	大渡河 (泸定、丹巴段)
土壤(肥沃度)	肥沃	较肥沃	较贫瘠	贫瘠
植被盖度	高盖度	高、中盖度	中、低盖度	低盖度或裸地
矿产分布	金、银、铂镍、铜、铅锌、石灰石等	金、银、铂镍、铜、铅锌、云母等	金、铜、铅锌、硅石、脉石英等	金、银、硅石、脉石英、云母等
成矿远景	中、差	中	良	优
开发矿山个数	16 个	30 个	22 个	8 个
开发矿山规模	小矿 2 个、小型 12 个、中型 2 个	小矿 3 个、小型 25 个、中型 2 个	小矿 2 个、小型 18 个、中型 2 个	小型 7 个、中型 1
勘查现状(工作程度)	预查及以下程度	预查为主	预查、勘查	勘查以上
自然保护区	国家级	省级	州级	州级、县级
主要人类活动	水电和矿业开发	水电、矿业、旅游、畜牧业开发	水电、矿业、旅游、畜牧业开发	旅游和少量矿业开发

3 生态地质环境风险评价

3.1 风险判定模式

生态地质环境承载力区划显示:各级区划均有矿业开发活动,在承载力良和中的区内矿业活动较为突出,而承载力优及差的区内开发活动较少。矿业活动存在开发规模(大型、中型、小型和小矿)、状态(筹建、在建、开发和停产)、矿种(金、银、铂镍、铜、铅锌和硅石矿等)等多种差异,由此导致矿产资源开发与生态地质环境相互作用的复杂机理。根据区内矿业历史及现状影响^[29],建立承载力与矿业活动的关系模式(图 3)用来判定承载力状态(危险性)。按照生态地质环境承载力状态判别模式,将其分为三种:正荷载,矿业活动造成的生态地质环境影响可以在较短的时间内由环境自我调节和修复,危险性极小;等荷载,生态地质环境的自我调节和修复能力与矿业活动的实际影响相当,环境调整到新的平衡状态的时间可以预期,危险性较小;超

荷载,生态地质环境对矿业活动造成影响,难以在有限的时间内通过环境自身调节或人工措施恢复,危险性较大。根据模型,承载力优的区域基本上可以承载各种规模的矿业活动;承载力良的区域可以承载中型、小型和小矿规模的影响;承载力中的区域仅可以承载小型和小矿规模;承载力差的区域则只能承载小矿规模,对于其他规模的活动均表现为超荷载状态。

3.2 风险区划及评价

鉴于生态地质环境承载力本底值,综合矿产资源勘查、规划和开发的空间作用模式,以地震、暴雨和矿山事故等作为激发条件,评价生态地质环境风险。为了实现相对风险值的计算,需要将危险性和潜在价值损失转化为可量化计算的图层。根据不同区域生态地质环境承载力与矿业活动作用关系的强弱和结果,将承载力区划转化为危险性分区并赋值,赋值主要采用构建判断矩阵计算的方法,危险性极小的赋值为“1”,危险性较小的值为“1.4”,

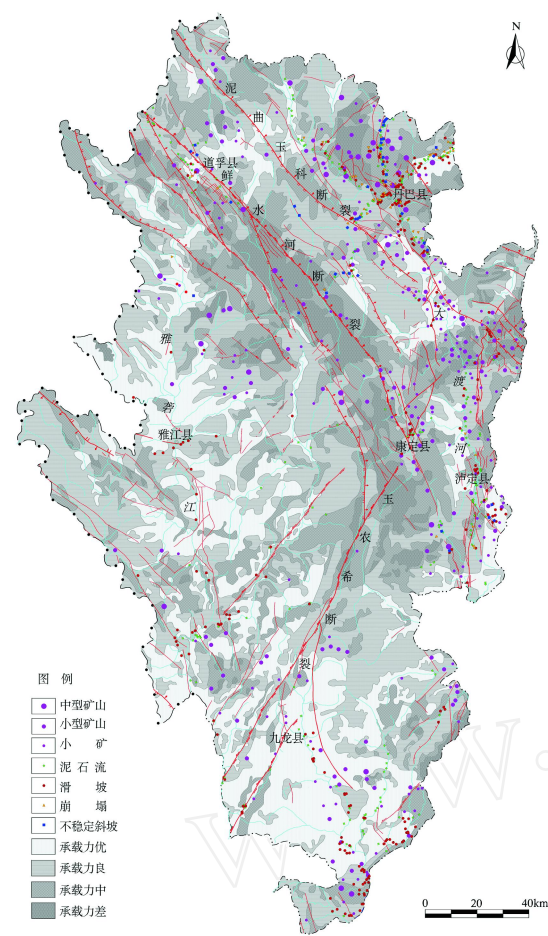
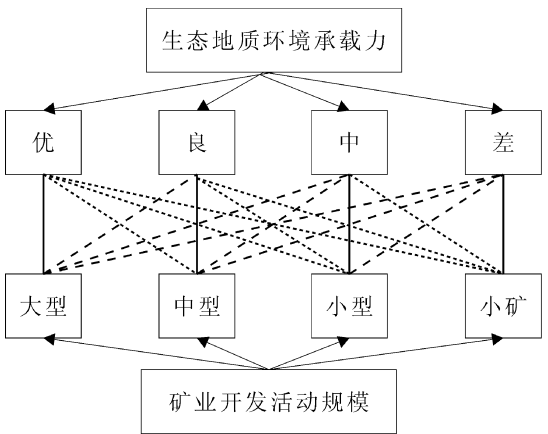


图 2 甘孜州东部生态地质环境承载力区划图

Fig.2 Zoning map of eco-geological environmental carrying capacity in Eastern Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture



图例 正荷载 —— 等荷载 --- 超荷载

图 3 生态地质环境承载力状态判别模式

Fig.3 The discrimination model of carrying capacity state of eco-geological environment

危险性较大的值为“2”。然后采用以人为本、主导因素控制、多要素综合的原则,遴选受矿业活动实

际影响并可能造成潜在损失的旅游景区、电站、道路和居民地作为风险载体,并根据载体的分布特征,综合地形地貌及流域影响,进行缓冲区分析,圈定其影响范围,并制定风险载体潜在损失的分级标准。旅游景区采用三级划分:一级为国家级景区,赋值为 1.45;二级为省级和州级景区,赋值为 1.25;三级为县级景区,赋值为 1.1。因电站的直接价值和间接价值信息难以准确获取,统一赋值为 1.3。道路分三级,一级为国道和省道,赋值 1.85;二级为县道,赋值 1.20;三级为乡村及其他道路,赋值为 1.15。居民地按照居住面积、人口数量 and 经济发展程度作三级划分:一级为县城,赋值为 2.5;二级为乡镇聚集区,赋值为 2;三级为其他居民地或聚集区,赋值为 1.8。在此基础上,将各个图层作求积运算,相对风险值域为 1~17.44,将其划分为高、较高、中和低四级(图 4)。从结果来看,风险分级大体呈现出东高西低、北高南低的形态,与生态地质环境承载力本底值区划基本一致,但对矿业活动威胁

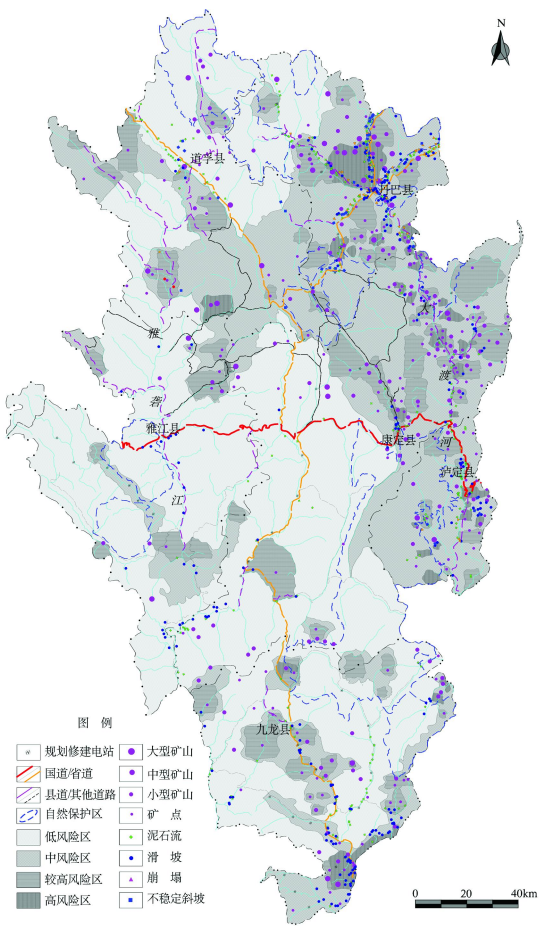


图 4 甘孜州东部生态地质环境风险区划图

Fig.4 Zoning map of eco-geological environmental risks in Eastern Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture

对象及可能造成损失的反映程度更高。

高风险区主要由两大部分组成。其一为大渡河沿岸的丹巴、康定和泸定局部区域,区内矿产资源的勘查及开发程度较高,泸定县雨洒坪矿业园区布局于此,该区的河谷地带是人口密集区,城镇、村庄布局紧凑;水电开发活动强度大,大渡河及其支流都是水电开发的重点;海螺沟、墨尔多神山及康巴文化等多种旅游资源丰富。其二为雅砻江九龙子区,地处九龙县南部,该区分布有里伍铜矿等矿山,是铜矿富集区,近年来矿产资源勘查工作程度日益提高,成为矿产资源开发的重点区域;九龙河流域水电开发及雅砻江锦屏电站建设都取得了阶段性成果;一些稀有及有色金属矿山下分布有居民,曾出现过采矿区崩塌及选矿厂污水泄漏事件。高风险区作为多种资源集中区,是甘孜州经济命脉所在,因此是矿业活动中急需控制物理和化学影响的区域。既要防治矿山地质灾害,又要控制水土污染。

较高风险区分布范围较广,矿业活动主要为小型规模的采矿及普查以上的勘查工作,在空间上多是高风险区的外部邻接区。此类区域多沿北西、南北向水系展布,水电站布局较少,牧业和农业较为发达,间有乡镇驻地分布。区内矿产资源的勘查工作程度较高,是矿产资源后续开发的重点区域,因人口密度较大,道路等基础设施分布相对集中,故矿业活动风险较大,主要防治对象为地质灾害和水土流失。

中风险区和低风险区分布范围最广,矿业活动包括勘查及小规模、分散度高的采矿活动,在空间上为较高风险区的低海拔、大流域的衔接区。林业和旅游资源丰富,水电开发活动连续、成带进行,居民点散布,道路多为非等级公路。主要防治对象为局部的地质灾害、水土流失和石漠化。

4 风险防治措施

研究区生态地质环境风险防治可以从五个方面着手,包括:加强小矿有序开发^[32-34]、加强勘查和开发过程管理^[35,36]、提高矿产资源利用效率^[35,36]、加强矿山环境问题(地质灾害、土地破坏和水源污染等)治理、构建矿产资源开发监测系统(图5),其中最后一项措施尤为重要。

因研究区泥石流、滑坡、地面塌陷和崩塌较为发育,矿山存在大量地质灾害隐患。通过地质勘

查,查明这些突发性地质灾害的情况,提出预防和治理突发性地质灾害的措施。逐步建成相对完善的地质灾害和矿山环境灾害空间数据库,基本达到监测数据的实时采集、自动分析、自动预警和预报,主要地质灾害和矿山环境信息实时查询。在矿业经济区建设中心监测站,在特大型矿山建设一般监测站;遴选出环境问题突出的大型和中型矿山开展水土、植被、废弃物和地质灾害的地质环境勘查和治理工程(图5)。

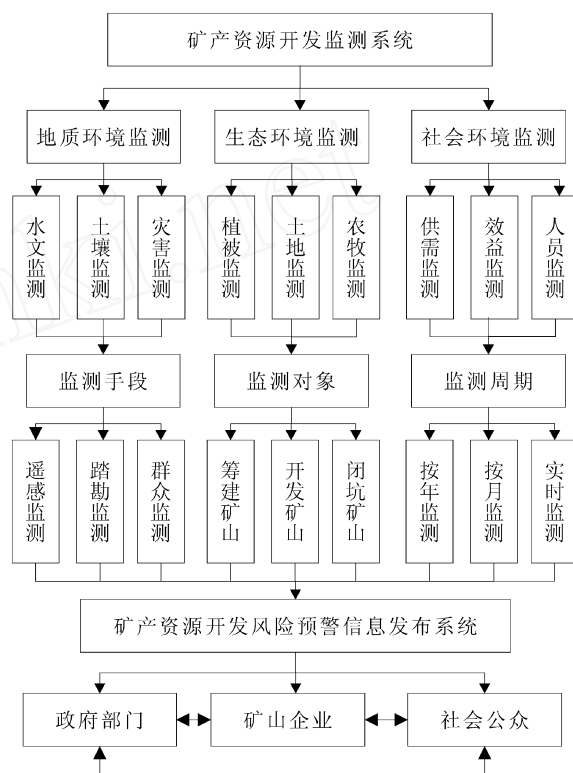


图5 矿产资源开发监测系统

Fig. 5 The mineral resources development monitoring system

5 结论与讨论

矿产资源开发作为生态地质环境中的特殊人类活动,因其活动范围、规模、强度和影响方式的差异,与生态地质环境产生复杂的互馈作用,这种作用的强度可以由生态地质环境承载力的三种荷载状态来间接表现。从研究区的生态地质环境承载力及风险区划来看,极端的状态多处于地质作用极其强烈的局部区域,而大部分区域则为中间状态,而不同状态之间的过渡区域则成为潜在的变化区域,也是风险评价的重点和难点区域,应加强后续的研究工作。可以预见生态地质环境风险研究将朝着评价定量化、综合化,管理监测空间化的方向

发展,从历史和现状分析向综合性实时预测发展, 价与防灾相结合。
从单个要素评价向综合要素分析发展,实现风险评

参 考 文 献

- [1] 陈梦熊. 环境地质科学的基本理论与发展前景[J]. 工程地质学报, 1995, 3(3): 31—34.
- [2] 张宗祜,袁道先. 我国跨世纪的重大地学问题—环境地质发展前景[J]. 国土资源科技管理, 1995, 12(5): 60—69.
- [3] 张人权,靳孟贵. 略论地质环境系统[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 1995, 20(4): 373—377.
- [4] 何政伟,黄润秋,许向宁等. 金沙江流域生态地质环境现状及其对梯级水电站工程开发过程中生态环境保护的建议[J]. 地球与环境, 2005, 33(B10): 605—613.
- [5] 陈梦熊. 环境地质学的基本理论与研究领域[M]. 北京:地震出版社, 1998: 98—103.
- [6] 黄润秋. 生态环境地质的基本特点与技术支持[J]. 中国地质, 2001, 28(11): 20—24.
- [7] 周爱国,孙自永,马瑞. 干旱区地质生态学导论[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2007: 3—11.
- [8] 赵坤宇,薛凯,吴晓龙. 尾矿坝地质生态环境风险防护措施分析[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(4): 136—137.
- [9] 支兵发. 试论区域生态地质环境质量评价的几个问题—以珠江三角洲经济区为例[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 59—64.
- [10] 支兵发. 珠江三角洲经济区海岸变迁的生态地质环境效应[J]. 资源环境与工程, 2008, 22(2): 200—204.
- [11] 李远华,姜琦刚,赵静,王坤,张继承. 青藏高原湖泊和 NDVI 变化反映的生态地质环境问题[J]. 遥感学报, 2008, 12(4): 640—646.
- [12] Sagoff M. Carrying capacity and ecological economics. *BioScience*, 1995, 45(9): 610—619.
- [13] Hrllich A. Looking for the Ceiling: Estimates of the Earth's carrying capacity [J]. *American Scientist*, Research Triangle Park, 1996, 84(5): 494—499.
- [14] Perrings C, Walker B. Biodiversity, resilience and the control of ecological—economic systems: the case of fire—driven rangelands[J]. *Ecological Economics*, 1997, 22(1): 73—83.
- [15] Irmi Seidl, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. *Ecological Economics*, 1999, 31(3): 395—408.
- [16] Tony Prato. Modeling carrying capacity for national parks [J]. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 321—331.
- [17] Yossapoll C, Caudill R, Axe L, *et al.* Carrying capacity estimates for assessing environmental performance and sustainability [J]. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2002, 32—37.
- [18] Kyushik Oh, Yeunwoo Jeong, Dongkun Lee, *et al.* Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 73(1): 1—15.
- [19] Cuadra M, Bj ? rklund J. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua [J]. *Ecological Indicators*, 2007, 7(1): 133—149.
- [20] Batchelder H P, Kashiwai M. Ecosystem modeling with NEMURO within the PICES Climate Change and Carrying Capacity program [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 202(1): 7—11.
- [21] Roy Shovonlal, Chattopadhyay J. Enrichment and stability: A phenomenological coupling of energy value and carrying capacity [J]. *Biosystems*, 2007, 90(2): 371—378.
- [22] 朱裕生. 基础地质调查的新任务:关于地质—生态环境调查新概念的探讨[J]. 中国区域地, 1999, 18(2): 122—126.
- [23] 高吉喜. 可持续发展理论探讨:生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2001: 1—15.
- [24] 钱易,刘昌明,刘宝珺,等. 要根据环境承载力合理布局生产力. [EB/OL]. <http://media.newgx.com.cn/static/20040302/newgx4043d6af-150769.html>, 2004-03-02.
- [25] 陈洲其,方克定,李裕伟,等. 国土规划与资源环境承载力评价关系咨询会. [EB/OL]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4a6d40030100bys9.html, 2009-01-21.
- [26] 张茂省,唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205—1206.
- [27] 段丽萍,郑万模,李明辉,等. 川西高原主要地质灾害特征及其影响因素浅析[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(4): 95—98.
- [28] 赵银兵. 面向矿产资源开发的地质生态环境研究—以甘孜藏族自治州东部为例[D]. 成都理工大学, 2009.
- [29] 甘孜藏族自治州矿产资源总体规划(2008—2020年)[R]. 甘孜州国土资源局, 2008.

- [30] 许向宁. 长江上游安宁河流域主要生态环境地质问题及其效应[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 572 - 577.
- [31] 王文俊. 生态地质环境评价的基本原理及其应用——以长江上游安宁河流域为例[D]. 成都理工大学, 2005.
- [32] 沈镭. 对我国小矿发展的几点建议[J]. 河北地质矿产信息, 2005, (1): 30.
- [33] 施训鹏. 世界各国规范小矿的经验及其对中国小煤矿管理的启示[J]. 煤炭经济研究, 2003, (9): 4—9.
- [34] 王峰, 王小华. 论我国小矿企业的健康发展问题[J]. 中国矿业, 2004, 13(8): 6—8.
- [35] 薄俊丽, 田明. 提高我国矿产资源利用效率的市场激励机制分析[J]. 矿冶, 2005, 14(4): 103—106.
- [36] 金小燕, 赵亚辉. 湖南省有色金属矿产资源开发利用效率相关问题的探讨[J]. 湖南地质, 2002, 21(2): 122—126.

Study on Eco-geological Environmental Risks of Mineral Resources Development, with Eastern Ganzi-Tibetan Autonomous Prefecture as an Example

ZHAO Yin-bing^{1,2}, HE Zheng-wei^{1,2,3}, NI Zhong-Yun^{1,2}, NAN Xi^{1,2}, ZHAO Yong¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu 610059, China;
2. Geosciences College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Key Laboratory of Resource Environment and GIS in Beijing, SCapital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract: Eastern Ganzi-Tibetan Autonomous Prefecture is one of the vulnerable mineral-rich regions and eco-geological environmental vulnerable areas. As for the eco-geological environmental carrying capacity, it is fine in the north and poor in the south; fine in the west and poor in the east. According to the mining history and status effects, the carrying states are divided into positive load, equivalent load and over load. By multiplication operation of eco-geological environmental hazard risks, the risk values were obtained and divided into four risk zones. The spatial distribution of risk zones is characterized as being high in the east and low in the west, and high in the north and low in the south. Mining activity area and its buffer zone, small watershed and great basin are all at the risk of system linkage. Risk zoning and carrying capacity zoning show a positive correlation. In order to combat eco-geological environmental risks, some measures are put forward, including enhancing orderly development of small mines, strengthening exploration and development process management, improving the efficiency of mineral resources, building the monitoring system, and strengthening the governance of mine environment.

Key words: eco-geological environment; carrying capacity; risk; mineral resources development; Eastern Ganzi-Tibetan Autonomous Prefecture