

# Quantitative Assessment of Freeze-Thaw Erosion in Mine Area Based on GIS

Wenxia QIU<sup>1</sup>, Zhengwei HE<sup>2</sup>, Zheng Lu<sup>1</sup>, Huixi XU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Engineering Surveying, Sichuan College of Architectural Technology, Deyang, China

<sup>2</sup>State Key Laboratory for Geo-Hazard Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu, China

University of Technology, Chengdu, China

Email: qiuwenxia2002@126.com,

**Abstract:** To evaluate the freeze-thaw erosion in study area, the comprehension assessment index was established based on weighted and additive method, using influence factors of freeze-thaw erosion, which were the annual temperature range, annual precipitation, slope, aspect, vegetation and soil respectively. Research results have shown that: the freeze-thaw erosion in study area is heavy. The extreme intensity erosion occupied the first place. The second place was the intensity erosion. Moderate erosion, intense erosion, tiny erosion and light erosion followed. During 1976-2005, the area, where the freeze-thaw erosion intensity was unvaried, was dominant. The trend of three kinds of erosion, including tiny erosion, intensity erosion and extreme intensity erosion, was upward, and the rest was downward. The area, where erosion intensity varied, distributed in low-elevation valley sides, on hills with higher elevation, in area with no or little vegetation cover, and at the junction between no-sunny and sunny slope. The total trend of freeze-thaw erosion in study area was upward, but the rate was downward. In other words, the enhancement tendency eased up.

**Keywords:** GIS; freeze-thaw erosion; quantitative assessment; comprehensive assessment index

## 基于 GIS 技术的矿区冻融侵蚀定量评价

仇文侠<sup>1</sup>, 何政伟<sup>2</sup>, 卢正<sup>1</sup>, 许辉熙<sup>1</sup>

<sup>1</sup>四川建筑职业技术学院, 测量工程研究所, 德阳, 中国, 618000

<sup>2</sup>成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都, 中国, 610059

Email: qiuwenxia2002@126.com

**摘要:** 利用影响冻融侵蚀因子, 即气温年较差、年降水量、坡度、坡向、植被、土壤, 基于加权加和模型, 构建综合评价指数对研究区冻融侵蚀情况进行评价分析。结果表明: 研究区冻融侵蚀严重, 以极强度侵蚀为主, 其次是强度侵蚀, 再次依次为中度侵蚀、剧烈侵蚀、微度侵蚀和轻度侵蚀。在 1976-2005 年间, 冻融侵蚀强度无变化区占主导, 各级别侵蚀面积变化幅度不大; 微度侵蚀、强度侵蚀和极强度侵蚀总体趋势增强, 其余各级别侵蚀面积减弱; 侵蚀强度发生变化区主要分布在海拔较低的河谷两岸, 海拔较高的山上, 植被覆盖较低或无植被的地方及阳、阴坡交界地。冻融侵蚀总体趋势增强, 但其速率趋势下降, 增强势头得到缓和。

**关键词:** GIS; 冻融侵蚀; 定量评价; 综合评价指数

### 1 引言

冻融侵蚀是高寒地区由于温度的变化, 导致土体或岩石热胀冷缩造成破坏, 后又在重力等作用下被搬

运、迁移、堆积的整个过程<sup>[1]</sup>。它是仅次于水蚀和风蚀的第三大土壤侵蚀类型。西藏海拔高、气温低、温差大等特殊的气候为冻融侵蚀的产生和发展创造了条件, 它作为西藏最主要的侵蚀类型之一<sup>[2-3]</sup>, 给当地的生产 and 人民生活造成了很大危害, 严重地威胁着耕地、

资助项目: 国家自然科学基金(40972225); 西藏拉萨-工布江达地区环境地质综合调查评价(中国地质调查局 2008-2009)。

草地资源以及公路、堤坝等建筑物的安全，在一定程度上制约了当地社会经济的发展。因此，研究冻融侵蚀对区域经济的可持续发展及当地生态环境等至关重要，应该受到高度重视。

## 2 研究区概况

研究区位于西藏自治区墨竹工卡县，面积约为1935km<sup>2</sup>，属于高山深切切割区，地形复杂，海拔高、坡度大、相对高差大。区内矿产资源丰富，植被覆盖度低，山坡上冲沟、细沟发育，石漠化现象较为严重，

地质灾害发育。在拉萨河、墨竹曲等河流经过的朝风向的山坡上可见沙土，风大时沙土扬起天空昏暗，可见风漩涡。在海拔较高的地区，可见冰渍物。当地气候属于大陆高原性气候，雨季潮湿寒冷，冬季酷寒干燥，昼夜温差大。年降雨量200-510mm，多集中在6-9月，7-8月为无霜期，每年10月至翌年3月为冰雪季节，风季多为2-4月。全年无绝对的无霜、雪月份，气候多变，四季不明。年平均温度在7-10℃，最高达到20℃左右，最低可达-20℃。6-8月间平均气温较高；11月至翌年4月，月平均气温较低，1月份最低。

Table 1. Classification standard of assessment index on freeze-thaw erosion  
表 1. 冻融侵蚀评价因子分级赋值标准<sup>[4]</sup>

因子	分级赋值标准			
气温年较差(°C)	≤18	>18, ≤20	>20, ≤22	>22
年降水量(mm)	≤150	>150, ≤300	>300, ≤500	>500
坡度(°)	≥0, ≤3	>3, ≤8	>8, ≤15	>15
坡向(°)	0-45, 315-360	45-90, 270-315	90-135, 225-270	135-225
植被类型	灌木林、森林	草甸、沼泽	草原	垫状植被、高山荒漠
土壤类型	棕壤、深棕壤、灰化土	草甸土、沼泽土、高山草甸土、亚高山草甸土、残余钙质亚高山草甸土	亚高山草原土、亚高山草甸草原土、高山草原土、高山草甸草原土	盐碱化土、高山荒漠化土壤、高山寒漠化土壤
赋值	1	2	3	4

## 3 评价方法

因冻融侵蚀区环境恶劣，目前国内外尚没有以单位时间内单位面积上土壤流失量对冻融侵蚀进行定量评价的研究，只有张建国于2006年从影响冻融侵蚀的因子角度提出了用适当影响因子(气温年较差、年降水量、坡度、坡向、植被、土壤)加权加和构建综合评价指数进行冻融侵蚀评价模型(式(1))<sup>[4]</sup>。本文中采用式(1)进行冻融侵蚀评价，各因子赋值标准见表1。

$$I = \sum_{i=1}^n W_i I_i / \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

式中：W<sub>i</sub>为各单因子评价指数对应的权重，I<sub>i</sub>为各单因子赋值，I为综合评价指数，综合评价指数越大，冻融侵蚀强度就越大。

## 4 评价因子的获取

### 4.1 气温年较差因子分级赋值图的获取

气温年较差分级赋值图按式(2)<sup>[5]</sup>计算得到。

$$T=3.1052+1.2418Y-0.2275X-0.0004133H \quad (2)$$

式中：X为经度(°)；Y为纬度(°)；H为海拔，根据研究区数字高程模型(DEM，单位:m)获取。其中，X、Y均由DEM数据计算获得。因单位不统一，所以首先利用ArcGIS软件将DEM投影转换为Geographic形式。然后，在ERDAS中利用MAPX函数生成栅格数据X，用MAPY函数生成栅格数据Y。再利用ArcGIS中的“Raster Calculator”工具将X，Y，DEM三幅栅格数据进行空间分析综合，计算出研究区气温年较差分布图。再按分级赋值标准(表1)进行重分类赋值得到研究区气温年较差分级赋值图。

### 4.2 地形因子分级赋值图的获取

地形(坡度、坡向)数据均从DEM计算获取。利益ArcGIS9.1软件“Spatial Analyst”模块中的“Slope”“Aspect”工具从DEM提取坡度、坡向等地形因子。再按分级赋值标准(表1)进行重分类得到研究区冻融侵蚀评价因子坡度、坡向分级赋值图。

### 4.3 年降水量因子分级赋值图、植被因子分级赋值图和土壤因子分级赋值图的获取

将研究区矢量的降雨量分布图、植被类型分布图、土壤类型分布图按其分级赋值标准(表 1)进行分类,将赋值输入到其属性表中,然后再利用 ArcGIS 软件中的“feature to raster”工具将其转换为栅格图像,即得到研究区年降水量、植被和土壤分级赋值图。

### 5 评价因子权重的确定

Table 2. Judged matrix on A-B<sub>i</sub> (1, 2, 3, 4, 5, 6)  
表 2. A-B<sub>i</sub> (1, 2, 3, 4, 5, 6)判断矩阵

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
B <sub>1</sub>	1	1	1/2	3	2	3
B <sub>2</sub>	1	1	1/3	3	2	3
B <sub>3</sub>	2	3	1	4	3	3
B <sub>4</sub>	1/3	1/3	1/4	1	1/2	1
B <sub>5</sub>	1/2	1/2	1/3	2	1	2
B <sub>6</sub>	1/3	1/3	1/3	1	1/2	1

采用层次分析法确定冻融侵蚀分级评价因子(气温年较差、年降水量、坡度、坡向、植被、土壤)的权重。将 6 个评价因子进行两两比较法构建判断矩阵(表 2)。经计算,各评价因子的权重依次为: 0.204(气温年较差)、0.19(年降水量)、0.346(坡度)、0.069(坡向)、0.118(植被)、0.073(土壤)。

### 6 冻融侵蚀分级及动态评价

#### 6.1 冻融侵蚀分级

按式(1)将各评价因子分级图与其相应的权重相乘再相加得到研究区冻融侵蚀综合评价指数分布图,数值范围在 1.31-3.39 之间。综合评价指数的高低代表了冻融侵蚀强度的强弱,指数越高表示侵蚀越强烈,反之亦然。将综合评价指数图按冻融侵蚀分级标准(表 3)分级<sup>[4]</sup>,得到研究区冻融侵蚀强度分级图(图 1)。

Table 3. Classification standard of freeze-thaw erosion  
表 3. 冻融侵蚀分级标准

冻融侵蚀强度	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
综合评价指数	1.06-2.07	2.07-2.36	2.36-2.71	2.71-2.93	2.93-3.16	3.16-3.39

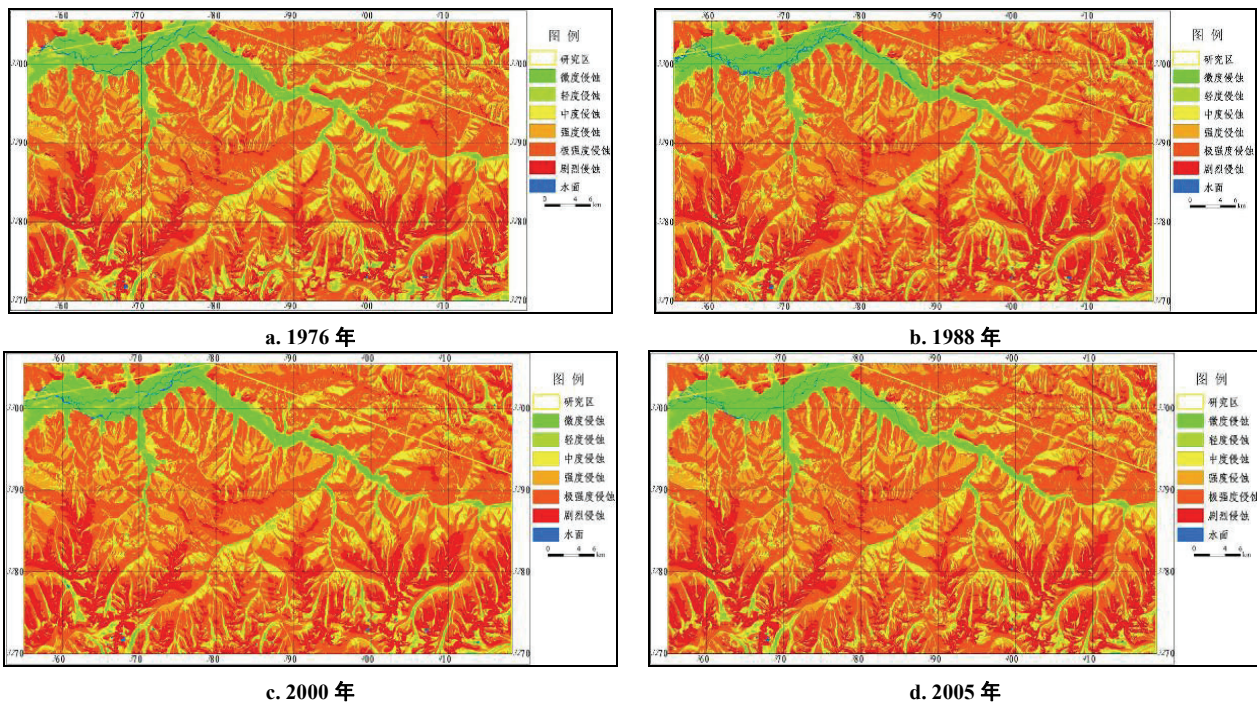


Figure 1. Chart of freeze-thaw erosion intensity classification in study area in 1976 ~2005  
图 1. 1976-2005 年研究区各时相冻融侵蚀强度分级图

## 6.2 冻融侵蚀动态评价

从 1976-2005 年研究区冻融侵蚀强度分级统计图(图 2)可明显看出研究区冻融侵蚀严重,以极强度侵蚀为主,其次是强度侵蚀,再次是中度、剧烈、微度、轻度。

为了反映 1976-2005 年间冻融侵蚀的动态变化,对同时期侵蚀图做差值运算,得到 1976-1988 年、1988-2000 年、2000-2005 年间研究区冻融侵蚀强度变化变化图(图 3)。从图 3 可以看出,研究区各个时段冻融侵蚀总体变化幅度不大;在发生变化的区域,有的增强,有的减弱;对照遥感影像及 DEM 可知,变化区域(含增强和减弱)主要在海拔较低河谷两岸、海拔

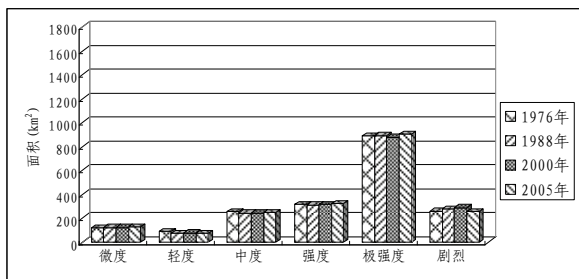
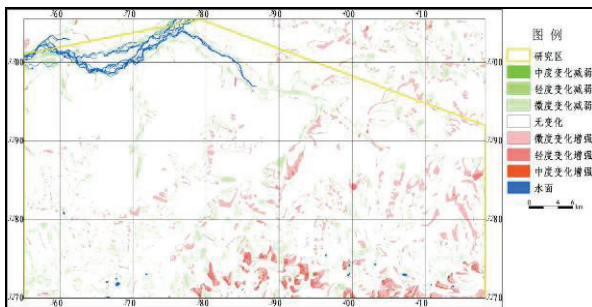
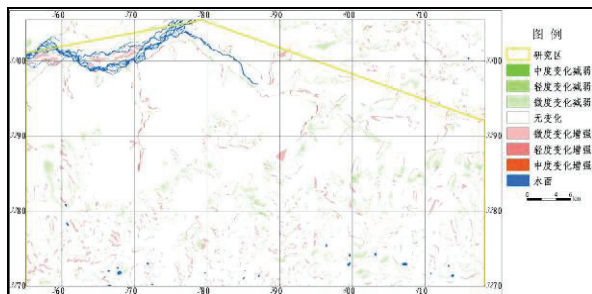


Figure 2. Chart on freeze-thaw erosion intensity classification in study area in 1976 ~ 2005

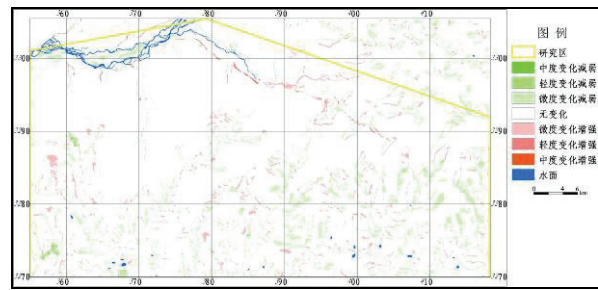
图 2.1976-2005 年研究区冻融侵蚀强度分级统计图



a. 1976-1988 年



b. 1988-2000 年



c. 2000-2005 年

Figure 3. Freeze-thaw erosion intensity change chart in study area in 1976 ~ 2005

图 3 1976-2005 年研究区冻融侵蚀强度变化图

较高的山地、植被覆盖较低或者无植被覆盖的地方及阳、阴坡交界地。

统计研究区各时段冻融侵蚀强度面积变化情况可

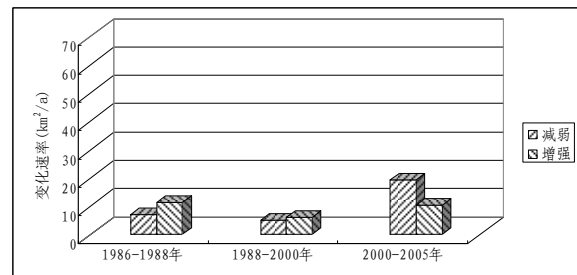


Figure 4. Chart on the rate of freeze-thaw erosion intensity in study area in 1976 ~ 2005

图 4.1976-2005 年研究区冻融侵蚀强度变化速率统计图

以得出各级侵蚀面积在 1976-2005 年间的变化趋势,即微度侵蚀面积先增加后减少,再转而增加,总体趋势增加;轻度侵蚀面积先减少后增加,再减少,总体呈减少趋势;中度侵蚀面积先减少,后持续增加,增加幅度小于之前减少的幅度,总体呈减少趋势;强度侵蚀面积先减少,后持续增加,增加幅度大于之前下降幅度,总体持续增加;极强度侵蚀面积先增加后减少,再迅速增加,总体趋势增加;剧烈侵蚀面积先持续增加,后迅速减少,总体呈减少趋势。

对研究的各时间段(1976-1988 年、1988-2000 年、2000-2005 年)内研究区冻融侵蚀强度变化面积情况进行统计分析,可得出结论:1976-2005 年间研究区冻融侵蚀变化增强面积大于变化减弱面积,即研究区冻融侵蚀变化呈增强趋势。图 4 为研究区 1976-2005 年间各研究阶段(1976-1988 年、1988-2000 年、2000-2005 年)冻融侵蚀强度变化速率统计图。从图中可以看出,变化减弱速率和变化增强速率均先减小,后增加;变化减弱速率总体呈上升趋势且幅度大,而变化增强速

率总体上呈下降趋势且幅度小。总之,1976-2005年间研究区冻融侵蚀趋势变化增强,但其速率有所减小,其幅度明显小于侵蚀变化减弱速率增长的幅度,即冻融侵蚀变化增强趋势得到缓和。

## 7 结论

本文基于综合评价指数模型,充分利用GIS技术的空间分析功能,对研究区的冻融情况进行分级动态评价。结论如下:研究区冻融侵蚀严重,以极强度侵蚀为主,其次是强度侵蚀,再次依次为中度侵蚀、剧烈侵蚀、微度侵蚀和轻度侵蚀。在1976-2005年间,冻融侵蚀强度无变化区占主导,各级别侵蚀面积变化幅度不大;微度侵蚀、强度侵蚀和极强度侵蚀总体趋势增强,其余各级别侵蚀面积减弱;侵蚀强度发生变化区主要分布在海拔较低的河谷两岸、海拔较高的山上、植被覆盖较低或无植被的地方,以及阳、阴坡交界地。冻融侵蚀总体趋势增强,但其速率趋势下降,增强势头得到缓和。

## References (参考文献)

- [1] Zhang Hongjiang. Soil Erosion Theory [M] Beijing: China Forestry Press,2000.3-15  
张洪江.土壤侵蚀原理[M].北京:中国林业出版社,2000.3-15
- [2] Zhang Jianguo, Wen Anbang, Chai Zongxin, et al. Soil Erosion Characteristic and Actuality on Tibet [J].JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE,2003,21:148-152.  
张建国,文安邦,柴宗新等.西藏自治区土壤侵蚀特点及现状[J].山地学报.2003, 21:148-152.
- [3] Liu Shuzhen, Zhang Jianguo, et al. Study on Soil Erosion Type of Tibet. [J]. JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE, 2006, 24(5), p592-596.  
刘淑珍,张建国等.西藏自治区土壤侵蚀类型研究[J].山地学报.2006, 24(5),p 592-596.
- [4] Zhang Jianguo, Liu Shuzhen, Yang Siqun. Classified Assessment on Freeze-thaw Erosion of Tibet [J]. Journal of geography, 2006, 61(9):911-918.  
张建国,刘淑珍,杨思全.西藏冻融侵蚀分级评价[J].地理学报,2006,61(9),p911-918.
- [5] Qiu Guoqing, Cheng Guodong, Zhou Youwu, et al. Frozen Earth of China [M]. Beijing: Science Press, 2000.45-46.  
邱国庆,程国栋,周幼吾,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000.45-46.