

层次分析法(AHP)在三江平原地质环境质量评价中的应用

杨 澍^{1,2}, 初 禹³, 杨湘奎⁴, 娄本君⁴

YANG Shu^{1,2}, CHU Yu³, YANG Xiangkui⁴, LOU Benjun⁴

1. 吉林大学, 吉林 长春 130026;
2. 中国地质调查局, 北京 100011;
3. 黑龙江省地质调查总院, 黑龙江 哈尔滨 150036;
4. 中国地质大学, 北京 100083

1. *Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China;*
2. *China Geological Survey, Beijing 100011, China;*
3. *Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, Heilongjiang, China;*
4. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

摘要:应用层次分析法(AHP)对影响三江平原环境地质质量的岩石、土壤和水3个子系统分别进行评价,通过分析影响各子系统的主要因子,建立子系统层次结构模型和质量指数数学模型,得出各子系统的质量指数,从而评价出各个子系统的质量状况。在此基础上,建立地质环境系统质量评价的层次结构模型和数学模型,计算出地质环境质量指数,并对该地区的质量状况进行评价,得出三江地区总体环境地质状况是好的结论。

关键词:三江平原;层次分析法;地质环境质量评价

中图分类号:X141 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-2552(2005)05-0485-06

Yang S, Chu Y, Yang X K, Lou B J. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in the evaluation of the geo-environmental quality in the Sanjiang plain. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24 (5):485-490

Abstract: The analytic hierarchy process(AHP)method is used to assess three sub-systems—rock, soil and water—that influence the quality of the geo-environment of the Sanjiang plain. By analyzing the major factors that define the three sub-systems, a hierarchical structure model of the sub-system and a quality index mathematic model are constructed and the quality indices of the three sub-systems are obtained. Then the geo-environmental quality of the three sub-systems is assessed with the AHP and index model. On that basis, an integrated hierarchical structure model and a mathematic model for the systematic quality assessment of the geo-environment are constructed and the geo-environmental quality index is calculated. Finally the quality of the study area is evaluated. The results show that on the whole the geo-environmental quality of the Sanjiang plain is good.

Key words: analytic hierarchy process method; Sanjiang plain; quality of geologic environment

人类的生存和社会经济的发展依赖于良好的自然环境系统的支持。自然环境系统包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈。地质环境是岩石圈上部同人类活动密切相关,同时又与

自然环境其他系统有紧密联系的地质空间,其上部界线是地表,下部界线是人类工程、技术活动达到的深度。地质环境是一个多成分系统,在该系统内有岩石、土壤、地下水、气体、微

收稿日期:2004-11-05;修订日期:2005-03-09

地调项目:中国地质调查局《黑龙江省三江平原地下水与生态环境地质调查》项目(编号:20001240007121、200012300106)资助。

作者简介:杨澍(1968-),男,在读博士,高级工程师,从事环境与资源研究。E-mail:yshu@cgs.gov.cn

生物等多种成分,并包含有构造活动形迹和地表形态要素,但其主体成分是岩石、土壤和地下水,因此地质环境系统是由岩石环境、土壤环境和水环境3个系统组成的。地质环境的好坏直接影响人类的生存和发展,因此对地质环境客观地进行评价,从而为社会经济的可持续发展和政府的宏观决策提供参考依据是十分重要的^[1]。

层次分析法(AHP)是将与评价(决策)有关的元素分解成目标、准则、指标等层次,在此基础上进行定性和定量分析的评价(决策)方法。该方法是应用网络系统理论和多目标综合评价方法,提出的一种层次权重分析方法。这种方法的特点是在对复杂问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上,利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的评价(决策)方法。尤其适合于对评价(决策)结果难于直接准确计量的场合。地质环境是一个多成分的复杂系统,主要由岩石环境、土壤环境和水环境3个系统组成,每个系统内部又存在多种对子系统的影响因子^[2]。本文将该层次分析法引入对地质环境质量的评价当中来,并对三江平原地质环境质量状况进行评价。

1 地质环境质量评价的原则和方法

1.1 评价原则

有3条基本原则:①将已发生和可能发生的环境地质问题及其强度,作为评价地质环境质量的基础。②将地质环境系统内各子系统的质量综合,体现地质环境系统的总体质量。③各子系统内的环境地质问题对子系统的环境质量的贡献大小是不相同的,但各个子系统的质量对地质环境系统综合质量的贡献却处于相同的地位。

1.2 评价方法

在地质环境质量的评价中,核心工作是确定各种环境地质问题在环境质量中的贡献大小和掌握各种环境地质问题在三江平原的分布与发育强度,计算出不同地区的环境质量指数,作为评价的量化指标。结合三江平原的地质环境研究程度和现实数据状况,采用层次分析法(The Analytic Hierarchy Procces,简称AHP),作为评价的基本方法。

(1)分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构,递阶层次结构的一般形式如图1所示。

(2)对同一层次各元素对上层次各准则的相对重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵。首先假设对地质环境质量有影响的因子共有 n 个,构成集合 $C=\{c_1,c_2,c_3,\cdots,c_n\}$,然后根据建立的层次结构模型,分别构造两两比较判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n\times n}$,该矩阵应满足条件 $a_{ij}>0$, $a_{ij}=1/a_j(i\neq j)$, $a_{ii}=1,i,j=1,2,\cdots,n$,判断矩阵中每个因子 (a_{ij}) 的大小根据Saaty提出的1~9及其倒数作为衡量尺度的标度方法给出,标度如表1所示^[3]。

(3)层次单排序及其一致性检验。先解出判断矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}$,再利用 $AW=\lambda_{\max}W$,解出所对应的特征向量 W , W 经标准化后,即为同一层次中相应因子对于上一层次的某

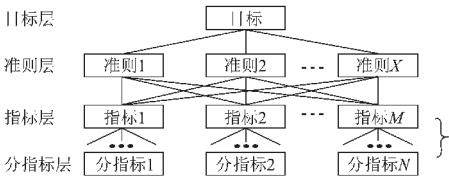


图1 递阶结构模型示意图

Fig.1 Falling factorial structure model

表1 判断矩阵中各因子标度含义

Table 1 Connotations of various factor scales in the discrimination matrix

标度	含 义
1	表示2个因子相比,具有同等重要性
3	表示2个因子相比,前者比后者稍重要
5	表示2个因子相比,前者比后者明显重要
7	表示2个因子相比,前者比后者强烈重要
9	表示2个因子相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示1,3,5,7,9相邻判断的中间值
上列值的倒数	表示2个因子相比,后者比前者重要的程度

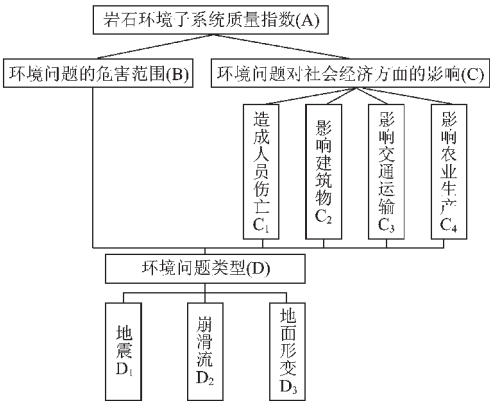


图2 岩石环境子系统质量评价层次结构模型

Fig.2 Hierarchical structure model for the quality assessment of the rock environment sub-system

个因子相对重要性权值。然后利用如下公式进行一致性检验: $CR=CI/RI$, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, RI 的取值见表2(CI 为一致性指标, RI 为平均随机一致性指标, CR 为随即一致性比例)。当 $CR<0.01$ 时,判断矩阵具有满意的一致性,否则需对矩阵进行重新调整。

(4)层次总排序及其一致性检验。利用同一层次中所有层次单排序的结果,计算针对上一层次而言本层次所有元素的重要性权值,此即为层次总排序。计算需从上到下逐层顺序进行,对于最高层下面的第二层,其层次单排序即为总排序。

评价中所需其他数据,通过利用和编制反映各类专门性

表2 *RI*的取值一览表

Table 2 Summary of *RI* values

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
取值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

表3 D层对C₁、C₂、C₃、C₄的权重

Table 3 Weighting of C₁, C₂, C₃ and C₄ by layer D

C ₁ -D					C ₂ -D				
C ₁	D ₁	D ₂	D ₃	P ₁ ⁽⁴⁾	C ₂	D ₁	D ₂	D ₃	P ₂ ⁽⁴⁾
D ₁	1	1/3	3	0.33	D ₁	1.0	3	5	0.51
D ₂	3	1.0	3	0.54	D ₂	1/3	1.0	6	0.41
D ₃	1/3	1/3	1.0	0.13	D ₃	1/5	1/6	1.0	0.08
CR=0.03					CR=0.05				
C ₃ -D					C ₄ -D				
C ₃	D ₁	D ₂	D ₃	P ₃ ⁽⁴⁾	C ₄	D ₁	D ₂	D ₃	P ₄ ⁽⁴⁾
D ₁	1	0.25	3	0.31	D ₁	1	0.2	3	0.25
D ₂	4	1	3	0.57	D ₂	5	1	5	0.66
D ₃	1/3	1/3	1	0.12	D ₃	1/3	1/5	1	0.09
CR=0.09					CR=0.03				

注:P₁⁽⁴⁾—D层对C₁的权重;P₂⁽⁴⁾—D层对C₂的权重;P₃⁽⁴⁾—D层对C₃的权重;P₄⁽⁴⁾—D层对C₄的权重

表4 D层对C层的合成权重

Table 4 Composite weighting of layer C by layer D

D \ C	ω ₁ ⁽³⁾ =0.13	ω ₂ ⁽³⁾ =0.39	ω ₃ ⁽³⁾ =0.23	ω ₄ ⁽³⁾ =0.25	ω ₁ ⁽⁴⁾ = P ⁽⁴⁾ ₁ ·ω ⁽³⁾ ₁ +P ⁽⁴⁾ ₂ ·ω ⁽³⁾ ₂ +P ⁽⁴⁾ ₃ ·ω ⁽³⁾ ₃ +P ⁽⁴⁾ ₄ ·ω ⁽³⁾ ₄
	P ₁ ⁽⁴⁾	P ₂ ⁽⁴⁾	P ₃ ⁽⁴⁾	P ₄ ⁽⁴⁾	
D ₁	0.33	0.51	0.31	0.25	0.38
D ₂	0.54	0.41	0.57	0.66	0.52
D ₃	0.13	0.08	0.12	0.09	0.10

注:ω₁⁽³⁾—环境问题对人员伤亡的影响;ω₂⁽³⁾—环境问题对建筑物损坏的影响;ω₃⁽³⁾—环境问题对交通运输的影响;ω₄⁽³⁾—环境问题对工农业生产的影响;ω₁⁽⁴⁾—D层对C层的合成权重;P₁⁽⁴⁾—D层对C₁的权重;P₂⁽⁴⁾—D层对C₂的权重;P₃⁽⁴⁾—D层对C₃的权重;P₄⁽⁴⁾—D层对C₄的权重;ω₁⁽³⁾—环境问题对人员伤亡的影响;ω₂⁽³⁾—环境问题对建筑物损坏的影响;ω₃⁽³⁾—环境问题对交通运输的影响;ω₄⁽³⁾—环境问题对工农业生产的影响;ω₁⁽⁴⁾—D层对C层的合成权重;P₁⁽⁴⁾—D层对C₁的权重;P₂⁽⁴⁾—D层对C₂的权重;P₃⁽⁴⁾—D层对C₃的权重;P₄⁽⁴⁾—D层对C₄的权重

问题的图件,以10 km×10 km的精度把三江平原划分为517个单元,从图上每个单元进行采样,根据计算得出结果,分别编制相应评价图。

2 地质环境各子系统的质量评价

2.1 岩石环境质量评价

(1)层次结构模型与数学模型

层次结构模型:岩石环境系统中存在的主要环境地质问题是地震危害,崩塌(包括塌岸)、滑坡、泥石流灾害和地面变

形(包括采矿塌陷)^[4]。以这3种环境问题作为评价元素,建立层次结构模型,见图2。

数学模型:环境质量评价,以质量指数作为量化指标,为此,建立岩石环境子系统质量指数数学模型

$$A = \sum_{j=1}^n a_j \cdot N_j$$

式中:A—岩石环境子系统质量指数;a_j—岩石环境中第j种环境地质问题的权重;N_j—岩石环境中第j种环境地质问题的强度指数。

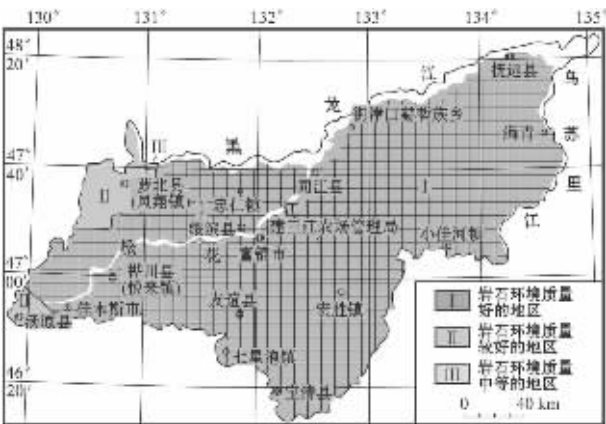


图3 岩石环境地质状况

Fig.3 Geological conditions of the rock environment

表5 D层对A层的合成权重
Table 5 Composite weighting of layer A by layer D

D	A	$\omega_1^{(2)}=0.5$	$\omega_2^{(2)}=0.5$	$\omega=P^{(3)} \cdot \omega^{(2)}$
		$P_B^{(3)}$	$P_C^{(3)}$	
D ₁		0.93	0.38	0.65
D ₂		0.06	0.52	0.29
D ₃		0.01	0.10	0.06

注： $\omega_1^{(2)}$ —环境问题的危害权重； $P_B^{(3)}$ —D层对B层的权重； ω —D层对A层的合成权重； $\omega_2^{(2)}$ —环境问题对社会经济方面的影响权重； $P_C^{(3)}$ —D层对C层的权重； $P^{(3)}$ —D层影响权重； $\omega^{(2)}$ —环境问题影响权重

滑流和地面变形3种主要环境地质问题,其危害所涉及范围分别为3655.13 km²、226.56 km²和20.33 km²。因此,地震、崩滑流和地面变形3种环境地质问题,在岩石环境子系统的面积极权重依次是0.93、0.06和0.01。

D层对C层的合成权重:根据《中国地质灾害40年灾情及基本规律研究》报告提供的有关数据计算,地震、崩滑流、地面变形3种环境问题,对人员伤亡、建筑物损坏、交通运输和工农业生产影响相对程度的权重, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别为0.13、0.39、0.23、0.25。根据专家咨询反馈的信息,通过计算,得到D层对 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 的权重,见表3所示。综合 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 的权重和D层分别对 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 的权重,最后确定了D层的合成权重,见表4。

D层对A层的合成权重:综合D层对B层和D层对C层的权重,得到D层对A层的合成权重,见表5。

(3)强度指数

根据上述3种环境地质问题在不同地区的发育特征,按相对程度将其划分为4个等级,每一个等级赋予一个相应的强度量值指数,以表示环境地质问题发育强度的相对差异。

将地震、崩滑流和地面变形的发育强度分为强烈、较强烈、中等和极微弱4级^[9],并分别赋予10、5、2、0四个量化值,作为强度指数,划分原则见表6。

(4)岩石质量状况

表6 强度指数的划分原则

Table 6 Principle of classification of intensity indices

强度指数	很强烈	较强烈	中等	极微弱或不发育
	10	5	2	0
地震	烈度大于Ⅷ,强震多,频次高	烈度Ⅶ—Ⅷ,偶有强震	烈度Ⅵ—Ⅶ,无强震	烈度小于Ⅴ,基本不发生地震
崩、滑、流	规模大,频繁发生,种类多	规模中等,频次较高,偶有大型发生	规模小,偶有中型发生,种类单一	偶有小规模发生,或基本没有
地面变形	规模大,发展速率高	发展规模较大	规模小,发展缓慢	基本没有地面变形

表7 环境质量划分标准

Table 7 Criteria for environmental quality classification

等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
指数	<3	3—4	4—5	5—6	>7

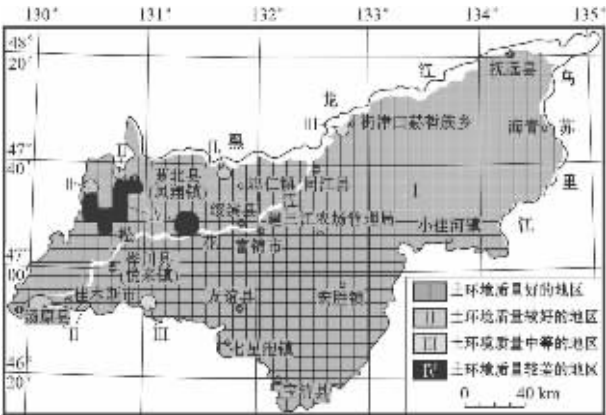


图5 土壤环境质量状况

Fig.5 Geological conditions of the soil environment

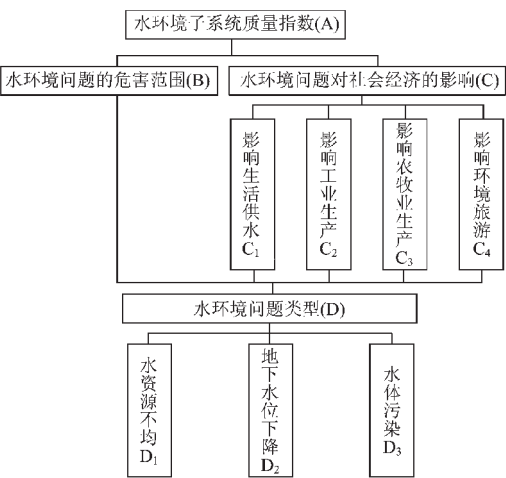


图6 水环境子系统质量评价层次结构模型

Fig.6 Hierarchical structure model for the quality assessment of the water environment sub-system

按质量指数大小,将岩石环境质量划分为5级,划分标准如表7。Ⅰ级属环境质量好的地区,Ⅱ级属环境质量较好的地区,Ⅲ级属环境质量中等的地区,Ⅳ—Ⅴ级属环境质量较差的地区^[9]。计算得出三江平原岩石环境质量状况(图3)。

2.2 土壤环境质量评价

土壤环境子系统中存在的环境地质问题主要是水土流失、土地沙化和土壤盐渍化,以这3种环境问题作为评价元素,建立子系统评价结构模型(图4),并进行土壤环境子系统质量指数计算。过程和方法同上。土壤环境质量状况:按质量指数大

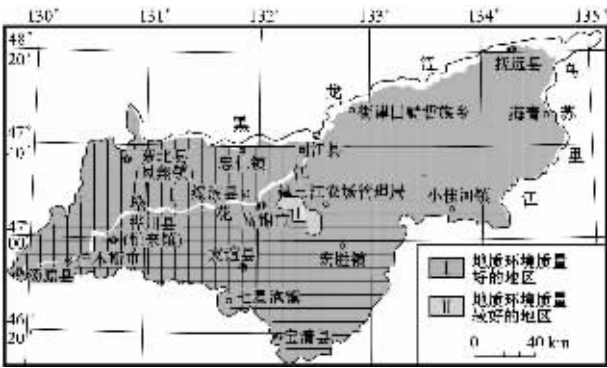


图7 水环境质量状况

Fig.7 Geological conditions of the water environment

表8 不同质量水平地区的占有面积

Table 8 Areas occupied by the districts with different quality levels

环境质量等级		占有计算单元数	面积 (km ²)	占三江平原面积
I	好	499	41665.31	98.6%
II	较好	7	534.64	1.3%
III	中等	1	57.81	0.1%
IV	较差	无	0	0%
V	差	无	0	0%

小,将土壤环境质量划分为5个等级^[9],划分标准如表7。通过计算,得出三江平原土壤环境质量状况,见图5。

2.3 水环境质量评价

水环境中的主要问题是水资源分布不均、水体污染、地下水资源过度开采形成水位下降漏斗等。以这些问题作为评价元素,建立层次结构模型(图6),并进行水环境质量指数计算,过程和方法同上。水环境质量状况:按质量指数大小将水环境质量划分为5个等级,划分标准如表7。经过计算,得出三江平原水环境质量状况,见图7。

3 地质环境质量综合评价

3.1 评价模型

上面分别评价了地质环境3个子系统的质量状况。根据对三江平原地质环境质量评价提出的基本原则,将各个子系统的质量进行综合,体现地质环境系统的总质量。因此,地质环境系统质量评价的层次结构模型和数学模型,可以分别用图8和下列数学式表示

$$DH=aA+bB+dD$$

式中:DH为地质环境系统质量指数;A、B、D分别为岩石环境、土壤和水环境3个子系统的质量指数;a、b、d分别为岩石环境、土壤和水环境3个子系统的权重。

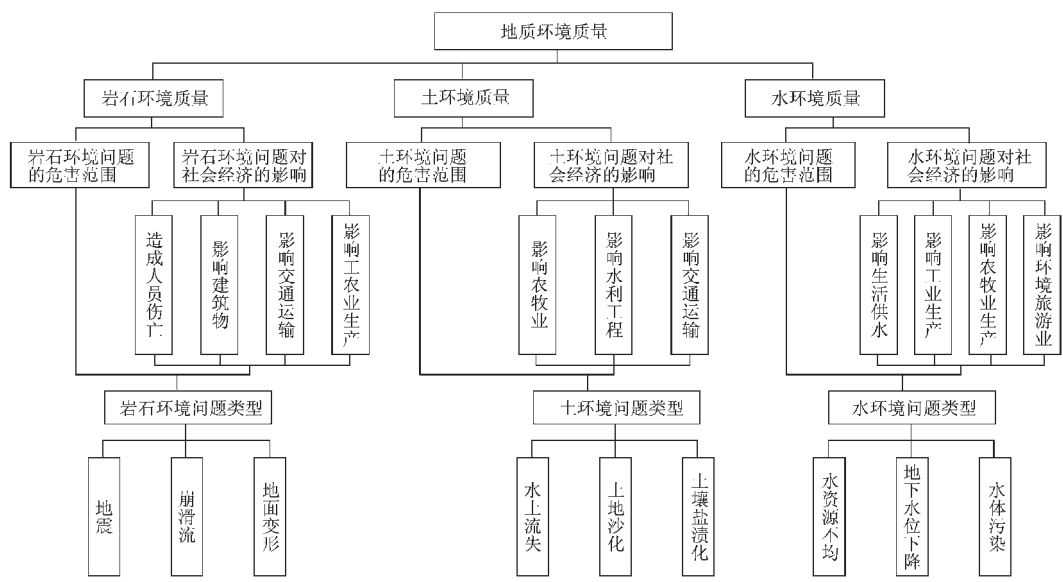


图8 地质环境质量综合评价层次结构模型

Fig.8 Hierarchical structure model for the integrated quality assessment of the geo-environment

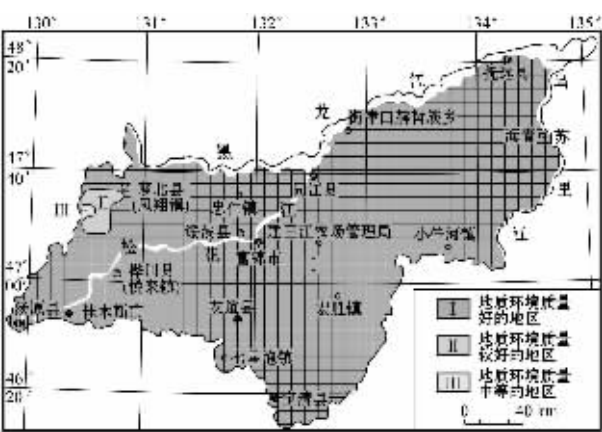


图9 地质环境质量状况

Fig.9 Quality of the geo-environment

把3个子系统质量在地质环境总质量中的贡献视为处于相同的地位,即各为1/3。因此,各子系统中各元素的权重应用于地质环境的质量评价时,都减小为1/3。强度指数保持不变。这样,用上述参数,通过对517个单元进行逐一计算,得到每个单元的地质环境质量指数。

3.2 三江平原地质环境质量现状

按质量指数大小,将地质环境质量划分为5个等级,划分标准如表7。三江平原地质环境质量状况见图9。不同质量水平地区占有的面积如表8所示。从表8中可知,地质环境质量好和较好的地区占99.9%,质量中等地区占0.1%。

由此可见,三江平原地质环境总体质量现状是好的,这对社会、经济的发展是十分有利的条件。根据各类环境地质问题在三江平原的发育总强度和权重,得到总影响程度大小的排序(表9)。

表9 环境问题影响排序表
Table 9 Sequencing of influences of environment problems

环境地质问题	总强度指数	权重	总影响程度指数	排序
水土流失	965	0.20	193.0	1
水体污染	779	0.13	101.3	2
地震	240	0.21	50.4	3
水资源分布不均	443	0.11	48.7	4
崩、滑、流	380	0.10	38.0	5
土壤沙化	281	0.11	30.9	6
地下水位下降	178	0.09	16.0	7
土壤盐渍化	48	0.03	1.4	8
地面塌陷	26	0.02	0.5	9

参考文献:

[1]丁桑岚.环境评价概论[M].北京:化学工业出版社,2001.
[2]初本君,高振操,杨世生,等.黑龙江省第四纪地质与环境[M].北京:海洋出版社,1989.
[3]高吉喜.可持续发展理论探索[M].北京:中国环境科学出版社,2001.
[4]段永候,罗元华,柳源,等.中国地质灾害[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
[5]陆雍森.环境评价[M].上海:同济大学出版社,1999.