

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.01.10

基于层次分析法的北京市地质环境质量综合评价

郭学飞¹, 王志一², 焦润成¹, 曹颖¹

(1. 北京市地质研究所, 北京 100120; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要:层次分析法是开展地质环境质量综合评价的重要方法之一,评价指标体系建立的合理性是评价成功与否的关键。针对当前研究存在单一评价指标体系不能有效表现不同地貌类型的地质环境质量特征的问题,本文以北京地区为研究区,分别建立了适合北京山区和平原区两种地貌类型的地质环境评价指标体系,开展了北京地区地质环境质量综合评价。结果表明,在区域地质环境质量评价中,基于地貌类型建立不同的评价指标体系,评价结果能够更加合理、准确地反映研究区不同地貌类型的地质环境质量及空间分布状况。

关键词:地质环境质量;层次分析法;评价指标体系;北京地区

中图分类号: P66 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-8035(2021)01-0070-07

Comprehensive evaluation method of geological environment quality in Beijing based on AHP

GUO Xuefei¹, WANG Zhiyi², JIAO Runcheng¹, CAO Ying¹

(1. *Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China;*

2. *China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China*)

Abstract: Analytic hierarchy process (AHP) is one of the important methods for the comprehensive evaluation of geological environment quality. Evaluation index system is the key to evaluate success or failure. In the current research, a single evaluation index system cannot effectively represent the geological environmental quality characteristics of different geomorphological types. The evaluation index system of geological environment for two geomorphologic types was established in order to carry out the comprehensive evaluation of geological environment quality in Beijing area. The results show that in the evaluation of regional geological environment quality, different evaluation index systems based on geomorphic types can reflect the geological environment quality and spatial distribution of different geomorphic types more reasonably and accurately.

Keywords: quality of geo-environment; Analytic Hierarchy Process; assessment index system; Beijing area

0 引言

地质环境质量是判定和评价一个区域地质环境总体条件和建设适宜性好坏的指标,能够为区域地质环境规划和地质环境问题的治理提供决策支持^[1-2]。层次分析法是一种多要素综合评价方法,在地质环境质量评价中发挥着重要作用^[3-5],其中评价指标体系的建立是利用层次分析法评价地质环境质量的关键。目前的研究

多是利用一套评价指标体系对包含多种地貌类型的区域开展地质环境质量评价^[6-7],而不同地貌类型的地质环境影响因子有所不同,因此导致地质环境质量评价结果在不同的地貌类型间有较明显的差异,评价结果不能有效体现研究区域不同地貌类型的地质环境质量特征。

针对上述问题,本研究以北京地区为例,根据北京地区地质环境特点,采用层次分析法建立基于不同地貌类型的地质环境质量评价体系,分别对山区和平原区开

收稿日期: 2019-11-18; 修订日期: 2020-06-15

基金项目: 国家重点研发计划课题“城市群地质环境演化多源遥感监测与预警”(2017YFB0503803);北京市人才培养资助项目“北京市地质环境区划指标体系初步研究”(2014400617931G216)

第一作者: 郭学飞(1990-),男,硕士,中级工程师,主要从事地质环境遥感研究。E-mail: xuefeiguo@163.com

通讯作者: 王志一(1984-),男,硕士,高级工程师,主要从事资源与环境遥感研究。E-mail: wangzy@cigem.cn

展地质环境质量评价。评价结果与基于单一评价体系的评价结果进行比较,探索更加合理的地质环境质量评价指标体系,有利于北京市地质环境的总体保护与防治。

1 研究区地质环境概况

北京市位于东经 $115^{\circ}25' \sim 117^{\circ}30'$, 北纬 $39^{\circ}28' \sim 41^{\circ}05'$, 地处华北平原北部, 总体地势西北高、东南低(图1)。西北部为太行山脉和燕山山脉交汇形成的中低山地貌, 东南部为各大水系冲洪积形成的平原地貌, 其中山区面积广泛, 占总面积的 62%。

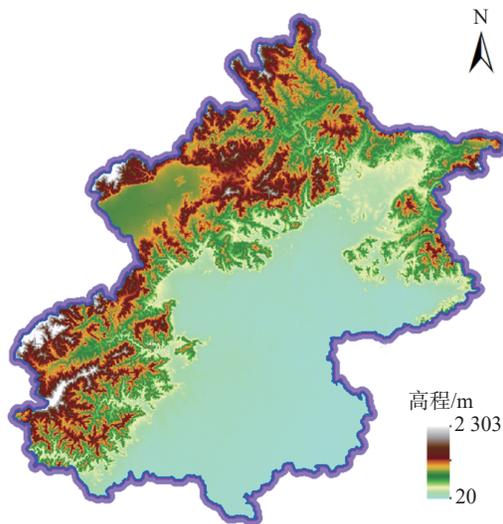


图1 北京市地形地貌

Fig. 1 Topographical map of Beijing

北京地区存在的主要地质环境问题分为山区和平原区两部分。在山区主要表现为矿山开发导致的环境破坏, 突发地质灾害隐患分布广泛。北京市各类矿点共计 386 处, 矿山占地面积 100.59 km^2 , 虽然绝大多数矿点已关停, 但是以往的矿业活动仍严重影响着当地的地质环境。另一方面, 北京市突发地质灾害较为发育, 有数量多、分布广、种类多的特点; 目前北京市各类地质灾害隐患点达 5 037 处, 主要分布在北部和西部山区的 10 个郊区县内, 隐患数量以密云区、房山区、怀柔区居多, 地质灾害隐患种类包括崩塌、滑坡、不稳定斜坡、泥石流和地面塌陷 5 种类型。

在平原区主要为活动断裂引起的地表位移和失稳, 以及地下水过度开采导致的地面沉降。北京平原区活动断裂主要包括: 南口孙河断裂带、高丽营断裂带和夏垫断裂带, 其中高丽营断裂带在高丽营附近断裂面直达地表, 近地表断距 1.58 m ^[8]。截至 2014 年, 北京平原区共发育 7 个地面沉降中心, 主要分布在朝阳区、昌平区、顺义区、大兴区和通州区, 最大累积沉降量(1955—

2014 年) $1\ 585 \text{ mm}$, 历史最大沉降速率达: 159.6 mm/a 。

2 研究方法

本研究的总体思路是, 针对北京市山区和平原区的地质环境特点, 分别建立两套不同地貌类型下的评价指标体系开展地质环境质量评价。具体方法是, 将研究区域划分为一系列独立的评价单元, 采用层次分析法对每一个评价单元进行地质环境质量要素的评价, 形成评价单元的属性数据库, 通过空间分析技术生成北京市全域地质环境质量综合评价结果。

层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process) 是一种定性分析和定量分析相结合的决策分析方法^[9-10], 通过构建地质环境质量评价指标体系层次结构模型及其重要性判断矩阵, 获取各评价指标的权重值^[11-13], 运用综合指数法^[14]建立研究区地质环境质量评价综合指数计算模型, 开展区域地质环境质量综合评价模型公式:

$$Q = \sum_{i=1}^n u_i \cdot w_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中: Q ——地质环境质量综合指数;

u_i ——各要素的评分值;

w_i ——各要素的权重;

n ——要素总个数。

3 地质环境质量评价

3.1 数据获取

本研究全面收集了近五年与北京市地质环境相关的数据资料。主要分为属性数据和空间数据两类。其中属性数据主要包括地质灾害资料、社会人口资料、矿业生产资料等; 空间数据主要包括区域地质资料、遥感影像资料、DEM 高程数据、水文地质资料等。

3.2 指标体系的建立

评价地质环境质量涉及的因素主要有区域地质环境背景、地质条件的稳定性、地质环境问题及人类工程活动等诸多因素, 但影响地质环境质量的优劣是相对的, 目前尚无统一的标准去衡量和描述地质环境质量的好坏^[15]。选择对评价目标起主导作用、比较稳定、量化的参评指标, 构建合理的评价指标体系是地质环境质量评价工作的关键^[16]。

本次地质环境质量指标的选取在参考《区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范》和《生态环境质量评价技术规定》等相关规范^[17-18]的同时, 结合研究区地质环境现状和存在的地质环境问题, 遵循科学性、系统性、独立性和方便性的地质环境质量评价指标体系构

建的基本原则,筛选出了 13 个评价指标,分别构建了北京市山区和平原区三层次的地质环境质量评价指标体系(图 2、图 3)。第一层为目标层,即北京市地质环境质量;第二层为准则层,包括地质条件、资源环境和人类活动 3 个评价准则;第三层为指标层,即每个准则所包含的具体的评价指标(表 1)。

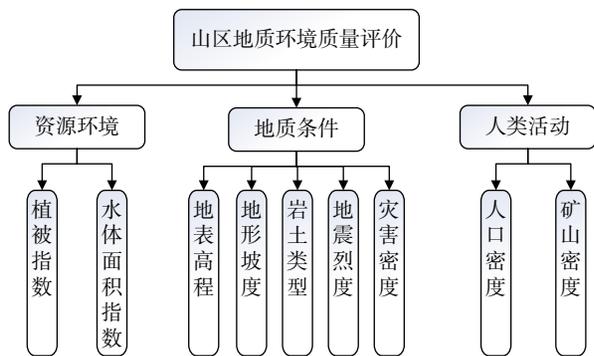


图 2 山区地质环境质量评价指标体系

Fig. 2 Hierarchical structure diagram of the geological environment quality evaluation system in mountain

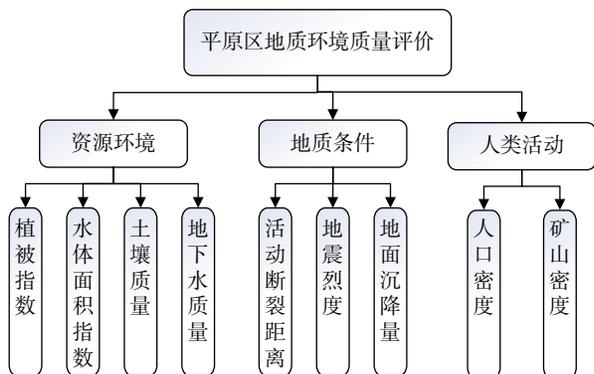


图 3 平原区地质环境质量评价指标体系

Fig. 3 Hierarchical structure diagram of the geological environment quality evaluation system in plain

3.3 指标量化分级

不同的指标数据具有不同的单位与量纲,无法直接进行比较和运算,因此必须对数据进行标准化处理,形成数据形式统一的属性数据库,以便进行指标间的综合运算。地质环境在区域上的差异性决定了评价指标的选取和量化分级具有很强的区域特征,因此量化分级过程必须充分考虑研究区地质环境的实际情况。本研究通过现场调查和专家咨询,同时结合相关规范^[19-20],将各评价指标就地质环境质量分为良好、较好、一般 3 个级别,分别赋值为 3 分、2 分、1 分(表 2),分值越大对应的地质环境质量越好。

将收集到的指标数据进行矢量化,并对各评价因子数据进行了 1 km×1 km 的重采样,即设定综合评价的基本单元大小为 1 km²。根据评价指标分级量化标准,对重采样后的指标数据进行量化分级,获得每个评价指标的量化分级图,如图 4 所示(限于篇幅,仅列部分典型指标)。

3.4 指标权重

采用层次分析法确定各评价指标的权重。经过专家咨询,构建各层级评价要素的重要性判断矩阵,经一致性检验,各层级判断矩阵均能达到满意的一致性,此处不一一列出。根据层次单排序法获得北京市山区和平原区各评价指标的权重(表 3、表 4)。

3.5 评价结果

各评价指标的权重值确定后,利用综合指数法模型公式,获得北京山区和平原区地质环境质量评价综合指数计算模型,通过空间分析技术获得各单元的地质环境质量综合评价结果(图 5)。利用自然断点法,分别对北

表 1 评价指标及其含义

Table 1 Evaluation indexes

序号	评价指标	含义
1	地表高程/m	地表海拔高度,影响地质环境的基础因素之一,它控制着水文、植被、人类活动等因素。
2	地形坡度/(°)	反映地形起伏的地形定量指标,水土流失、地质灾害、水资源等都与坡度有很大的关系。
3	岩土类型	人类生存的最基本的物质条件,评判依据是人类对岩土体的适应性,一般而言,岩性越软,人类的适应性越强。
4	地震烈度	地震时某一地区的地面和各类建筑物遭受到一次地震影响的强弱程度,表征地壳稳定性的重要因素。
5	活动断裂距离/m	某一地区活动断裂对人类活动建设存在的影响程度,用与活动断裂的距离表征。
6	灾害密度/(个·km ⁻²)	对地区地质灾害严重程度的表征,用每平方公里地质灾害的数量表示。
7	地面沉降量/mm	地面沉降是影响人类工程活动建设的重要因素之一,用累积沉降量表示。
8	植被指数	某一地区的植被覆盖程度,用NDVI指数表征,植被是影响区域地质环境质量的重要因素之一。
9	水体面积指数	某地区地表水资源量,用水体面积指数表征,一般情况下,地表水资源量越大,对环境的有益贡献就越大。
10	土壤质量	指土壤在一定生态系统内支持生物的生产能力,净化环境能力,促进动植物及人类健康的能力,用土壤质量等级表征。
11	地下水质量	地下水资源的质量状况,用地下水污染的程度表征,如未受污染、轻微污染、严重污染。
12	人口密度/(人·km ⁻²)	单位面积内的人口数量,人口是制约地区经济发展的主要因素,人口密度越大,其地质环境质量也会越差。
13	矿山密度/(个·km ⁻²)	单位面积内的矿点数量,采矿活动严重影响着当地的地质环境质量。

表 2 评价指标量化分级标准
Table 2 Grading quantitative standard of geological environment quality indexes

影响要素	评价指标	质量状态评分(山区)			质量状态评分(平原区)		
		良好(3分)	较好(2分)	一般(1分)	良好(3分)	较好(2分)	一般(1分)
地质条件	地表高程/m	< 500	500 ~ 1 000	> 1 000	-	-	-
	地形坡度/(°)	< 5°	5° ~ 25°	> 25°	-	-	-
	岩土类型	软岩/松散土	中硬岩	坚硬岩	-	-	-
	灾害密度/(个·km ⁻²)	0	1	> 1	-	-	-
	地震烈度/度	< VII	VII	> VII	< VII	VII	> VII
	活动断裂距离/m	-	-	-	> 3 000	3 000 ~ 200	< 200
	地面沉降量/mm	-	-	-	< 500	500 ~ 1 500	> 1 500
资源环境	植被指数	> 0.7	0.7 ~ 0.5	< 0.5	> 0.6	0.6 ~ 0.3	< 0.3
	水体面积指数	1.0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.1	< 0.1	1.0 ~ 0.3	0.3 ~ 0.05	< 0.05
	土壤质量	-	-	-	优质、良好	好	中等
	地下水质量	-	-	-	未污染	轻污染/中污染	严重污染
人类活动	人口密度/(人·km ⁻²)	< 550	550 ~ 1 500	> 1 500	< 1 000	1 000 ~ 7 000	> 7 000
	矿山密度/(个·km ⁻²)	0	1	> 1	0	1	> 1

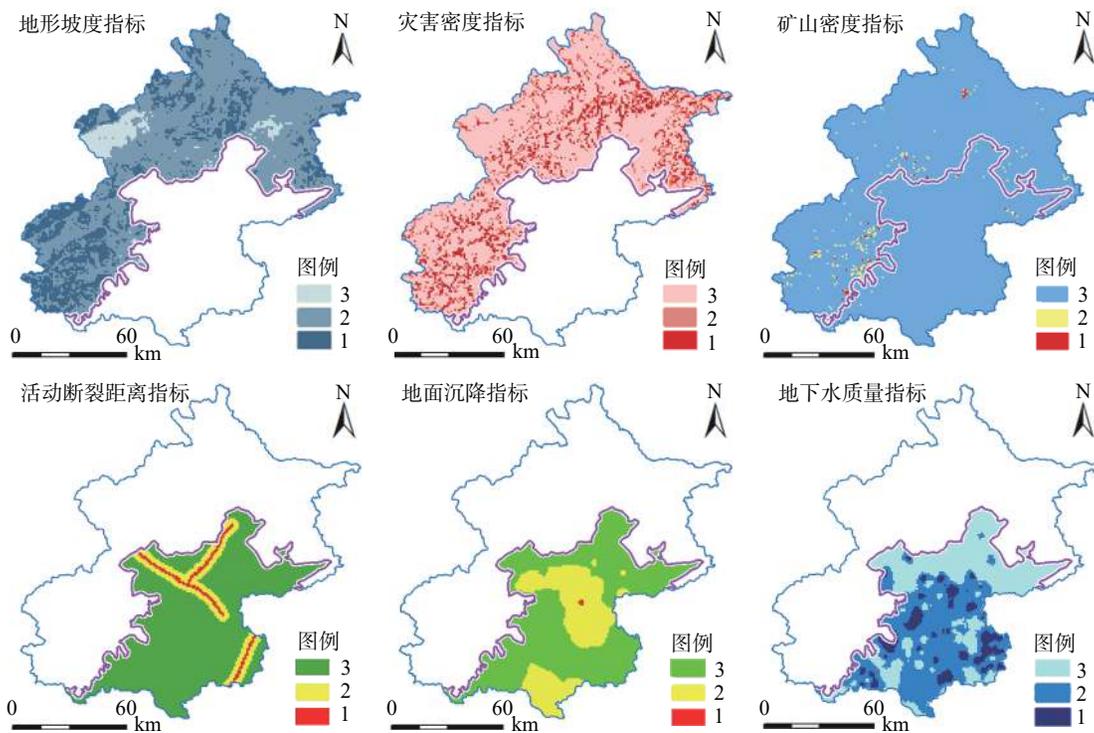


图 4 评价指标量化分级

Fig. 4 Quantization grading diagram of evaluation index

京山区和平原区地质环境质量指数进行等级区划,总体上将北京地区地质环境质量划分为3个区:地质环境良好区、地质环境较好区和地质环境一般区(图 6-a)。

4 讨论

利用上述方法和指标因子建立针对北京市全域的

单一地质环境质量评价指标体系(图 7),通过层次分析和专家评判确定指标权重,利用综合指数法开展北京市全域地质环境质量评价,评价结果(图 6-b)与基于地貌的多重评价指标体系评价结果(图 6-a)进行比较。

在单一评价指标体系的评价结果中,山区大部为地质环境一般区,山前丘陵-平原地带地质环境良好区,中

表 3 山区地质环境质量评价指标权重

Table 3 Geological environment quality evaluation index weight in mountain

一级因子	权重	评价指标	总权重
地质条件	0.549 9	地表高程/m	0.068 7
		地形坡度/(°)	0.152 0
		岩土类型	0.096 2
		地震烈度/度	0.046 9
		灾害密度/(个·km ⁻²)	0.186 2
资源环境	0.209 8	植被指数	0.069 9
		水体面积指数	0.139 9
人类活动	0.240 2	人口密度/(人·km ⁻²)	0.060 1
		矿山密度/(个·km ⁻²)	0.180 2

表 4 平原区地质环境质量评价指标权重

Table 4 Geological environment quality evaluation index weight in plain

一级因子	权重	评价指标	总权重
地质条件	0.443 4	活动断裂距离/m	0.177 4
		地震烈度/(°)	0.088 7
		地面沉降量/mm	0.177 4
资源环境	0.387 4	植被指数	0.065 5
		水体面积指数	0.079 3
		土壤质量	0.131 1
人类活动	0.169 2	地下水质量	0.111 5
		人口密度/(人·km ⁻²)	0.042 3
		矿山密度/(个·km ⁻²)	0.126 9

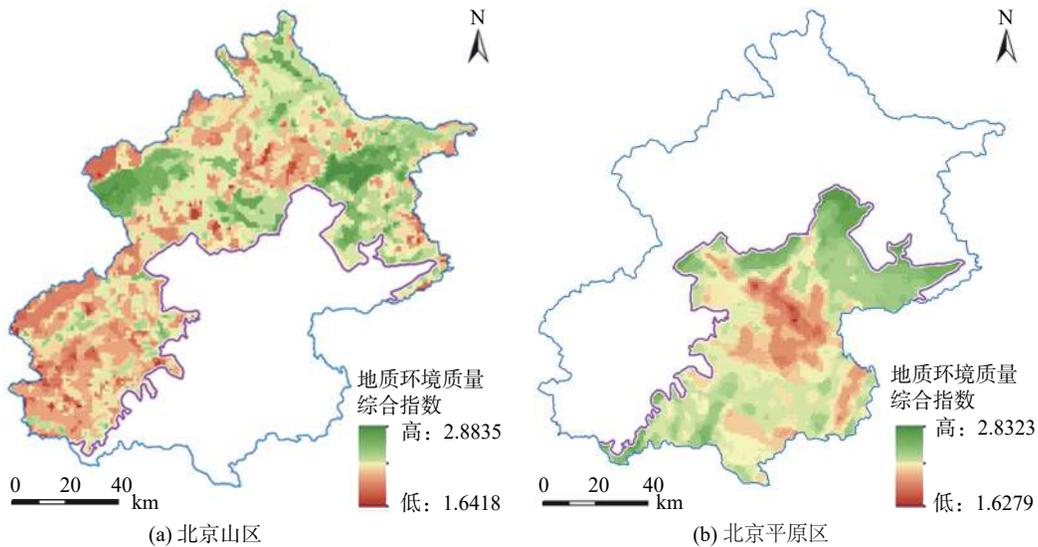


图 5 地质环境质量综合评分

Fig. 5 Geological environment quality comprehensive grading map

部平原区为地质环境较好区,地质环境质量区划显示出了明显的地貌特征,地质环境质量评价结果的分带性较为明显,空间分异性较差。在多重评价指标体系的评价结果中,地质环境质量的空间分异性明显得到了增强,山区地质环境良好区和较好区的范围明显增大,地质环境质量的空间分布体现了多种指标因素的影响;平原区活动断裂、地面沉降两大因素的影响得到增强,地质环境一般区的面积明显扩大,地质环境良好区也不局限于山前丘陵-平原,综合体现了土壤质量、地下水质量等因素的影响。

分析上述结果,在参与地质环境质量评价的指标因素中,部分指标受地貌影响具有空间上的局限性,不能代表北京全域的特征,如灾害密度、地形坡度、矿山密度等指标偏重于影响山区地质环境,而活动断裂、

地面沉降则只存在于平原区。这些受地貌影响明显的指标因子在同一评价指标体系中被赋予权重值,降低了其对某个地貌类型的影响程度,因此导致地质环境质量评价结果在不同的地貌类型间有较明显的差异,评价结果不能有效体现研究区域不同地貌类型的地质环境质量特征,地质环境质量评价结果的合理性和准确性较差。

5 结论

不同的地貌类型影响地质环境质量的因素有所不同。在区域地质环境质量评价中,相比于单一评价指标体系,建立基于地貌类型的多重评价指标体系,评价结果能够更加合理、准确地反映研究区的地质环境质量及空间分布状况。

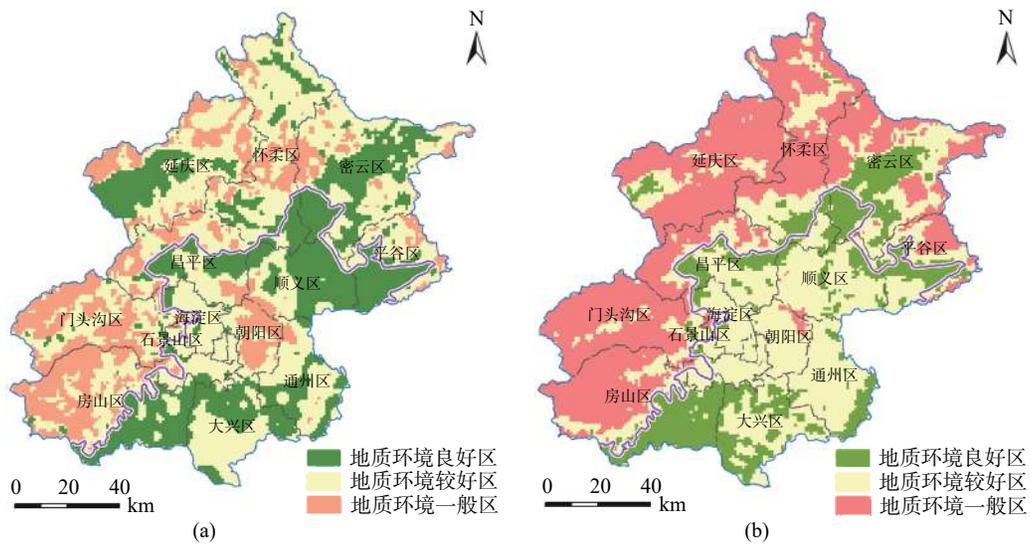


图 6 北京市全域地质环境质量评价指标体系

Fig. 6 The index system of geological environment quality evaluation of Beijing

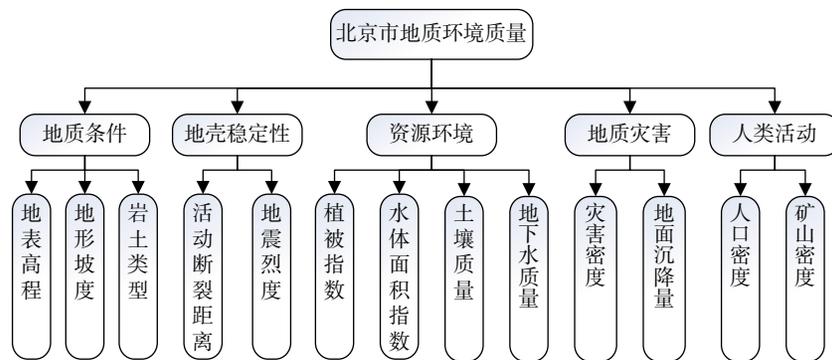


图 7 北京市地质环境质量分级区划对比

Fig. 7 Comparison of geological environment quality zoning of Beijing

参考文献 (References) :

[1] 周爱国, 蔡鹤生. 地质环境质量评价理论与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998. [ZHOU Aiguo, CAI Hesheng. Theory and applications of geoenvironmental quality evaluation[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998: 25-27. (in Chinese)]

[2] 李潇, 李佳. 北京城市地质安全保障服务系统在地质环境综合质量评价中的应用[J]. 城市地质, 2015, 10(1): 43-47. [LI Xiao, LI Jia. Comprehensive geological environment assessment based on Beijing geological security service system [J]. City Geology, 2015, 10(1): 43-47. (in Chinese with English abstract)]

[3] 杨栓成, 王运生. 基于GIS的涪江上游南坝—水晶流域滑坡危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治, 2018, 29(6): 15-22. [YANG Shuancheng, WANG Yunsheng. GIS-based landslide risk assessment along the Nanba-Shuiingreaches in the Fujiang River [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(6): 15-22. (in Chinese with English

abstract)]

[4] 尚慧, 王明轩, 罗东海, 等. 基于函数赋值模型与模糊综合评判法的单沟泥石流危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1): 61-69. [SHANG Hui, WANG Mingxuan, LUO Donghai, et al. Single gully debris flow hazard assessment based on function assignment model and fuzzy comprehensive evaluation method [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(1): 61-69. (in Chinese with English abstract)]

[5] 崔志超, 王俊豪, 崔传峰, 等. 基于层次分析法和模糊数学相结合的甘肃东乡八丹沟泥石流易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(1): 44-50. [CUI Zhichao, WANG Junhao, CUI Chuanfeng, et al. Evaluation of the susceptibility of debris flow in Badan Gully of Dongxiang County of Gansu based on AHP and Fuzzy mathematics [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(1): 44-50. (in Chinese with English abstract)]

[6] 郑长远, 张启兴, 贾君, 等. 层次分析法在长江源区生态

- 地质环境质量(脆弱性)评价中的应用 [J] . *西北地质*, 2010, 43(1): 137-145. [ZHENG Changyuan, ZHANG Qixing, JIA Jun, et al. The application of analytic hierarchy process(AHP) in source region of the Yangtze River's geological environment quality(vulnerabilities) evaluation [J] . *Northwestern Geology*, 2010, 43(1): 137-145. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 戚向阳,王春,黄震,等.层次分析和模糊综合评价在地质环境质量评价中的应用实践 [J] . *中国锰业*, 2017, 35(1): 131-133. [QI Xiangyang, WANG Chun, HUANG Zhen, et al. An application of analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation in geological environmental quality assessment [J] . *China's Manganese Industry*, 2017, 35(1): 131-133. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 贾三满,姜媛,赵越.北京市地质环境质量综合评价[J].*城市地质*, 2015, 10(增刊1): 111-116. [JIA Sanman, JIANG Yuan, ZHAO Yue, et al. Comprehensive assessment of geological environment quality in Beijing [J]. *Urban Geology*, 2015, 10(Sup1): 111-116. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 汪应洛.系统工程理论、方法与应用[M].第二版.北京:高等教育出版社,1992: 170-174. [WANG Yingluo. *System engineering theory, method and application* [M]. 2nd edition. Beijing: Higher Education Press, 1992: 170-174. (in Chinese)]
- [10] 李恺.层次分析法在生态环境综合评价中的应用 [J] . *环境科学与技术*, 2009, 32(2): 183-185. [LI Kai. Application of analytical hierarchy process to integrate evaluation of eco-environment [J] . *Environmental Science and Technology*, 2009, 32(2): 183-185. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 蔡鹤生,周爱国,唐朝晖.地质环境质量评价中的专家-层次分析定权法 [J] . *地球科学——中国地质大学学报*, 1998, 23(3): 299-302. [CAI Hesheng, ZHOU Aiguo, TANG Chaohui. Expert-analytic hierarchy weighting process in geological environmental quality assessment [J] . *Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(3): 299-302. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 张炳江.层次分析法及其应用案例[M].北京:电子工业出版社, 2014: 47-57. [ZHANG Bingjiang. *Analytic hierarchy process and application cases*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry of China, 2014: 47-57. (in Chinese)]
- [13] 张丽,龙翔,苏晶文,等.长江三角洲经济区工业用地地质环境适宜性评价 [J] . *水文地质工程地质*, 2011, 38(3): 124-128. [ZHANG Li, LONG Xiang, SU Jingwen, et al. Geo-environmental suitability assessment of industrial land in the Yangtze River Delta Economic Zone [J] . *Hydrogeology & Engineering geology*, 2011, 38(3): 124-128. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 汪名鹏.江苏沭阳主城区地质环境质量评价 [J] . *世界地质*, 2012, 31(4): 841-847. [WANG Mingpeng. Geological environmental quality evaluation in Shuyang downtown area, Jiangsu Province [J] . *Global Geology*, 2012, 31(4): 841-847. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 姜媛,贾三满,王海刚.北京市地面沉降风险评价与管理 [J] . *中国地质灾害与防治学报*, 2012, 23(1): 55-60. [JIANG Yuan, JIA Sanman, WANG Haigang. Risk assessment and management of land subsidence in Beijing Plain [J] . *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2012, 23(1): 55-60. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 郑懿珉,高茂生,刘森,等.基于我国海岸带开发的地质环境质量评价指标体系 [J] . *海洋地质前沿*, 2015, 31(1): 59-64. [ZHENG Yimin, GAO Maosheng, LIU Sen, et al. Geo-environmental quality evaluation system for coastal zone management [J] . *Marine Geology Frontiers*, 2015, 31(1): 59-64. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 国家技术监督局.区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范(1:50 000): GB/T 14158—1993[S]. 1993. [National Technology Supervision Bureau. *Synthetic survey code for regional hydrogeology, engineering geology and environmental geology*(1: 50000): GB/T 14158—1993[S]. 1993. (in Chinese)]
- [18] 中华人民共和国环境保护部.生态环境状况评价技术规范: HJ 192—2015[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2015. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *Technical Criterion for Ecosystem Status Evaluation: HJ 192—2015*[S]. Beijing: China Environment Science Press, 2015. (in Chinese)]
- [19] 中华人民共和国国土资源部.地质灾害危险性评估规范: DZ/T 0286—2015[S]. 北京:中国标准出版社, 2015. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. *Specification of risk assessment for geological hazard: DZ/T 0286—2015*[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015. (in Chinese)]
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.中国地震动参数区划图: GB 18306—2015[S]. 北京:中国标准出版社, 2016. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. *Seismic ground motion parameters zonation map of China: GB 18306—2015*[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)]